

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームコード* (参考)
H 0 1 L 21/027		G 0 3 F 1/08	A 2 H 0 9 5
G 0 3 F 1/08			D 5 F 0 4 6
		7/20	5 2 1
7/20	5 2 1	H 0 1 L 21/30	5 1 5 D
			5 1 4 C

審査請求 有 請求項の数35 O L (全 27 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2002-123268 (P2002-123268)	(71) 出願人	000001007 キヤノン株式会社 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(22) 出願日	平成14年4月24日 (2002.4.24)	(72) 発明者	斉藤 謙治 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ ノン株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願2001-369393 (P2001-369393)	(72) 発明者	山添 賢治 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ ノン株式会社内
(32) 優先日	平成13年12月3日 (2001.12.3)	(74) 代理人	100110412 弁理士 藤元 亮輔
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		
(31) 優先権主張番号	特願2001-126759 (P2001-126759)		
(32) 優先日	平成13年4月24日 (2001.4.24)		
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		

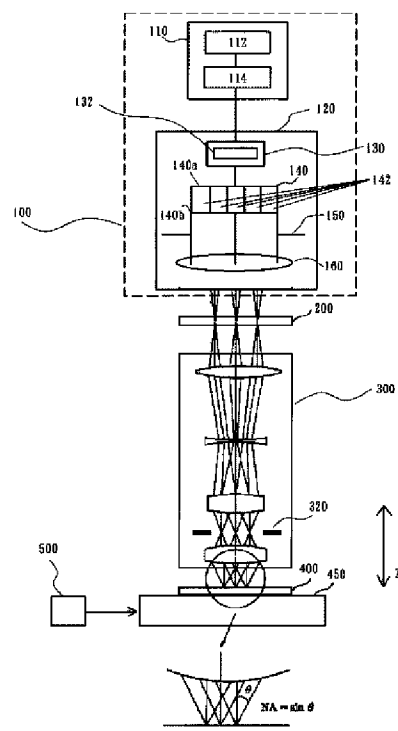
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 露光方法及び装置

(57) 【要約】

【課題】 微細なホール径を持ち、コンタクトホール列のパターン、あるいは孤立コンタクトホールとコンタクトホール列とが混在するパターンを、マスクを交換せずに、高解像度（即ち、コンタクトホール列については位相シフトマスクを用いたL&Sパターンと同等の解像度）で露光可能な露光方法及び装置を提供する。

【解決手段】 コンタクトホールのパターンと、当該パターンよりも寸法が小さなパターンとが配列されたマスクを、前記コンタクトホールのパターンが解像され、且つ、前記寸法が小さなパターンの解像が抑制されるように、複数種の光で照明することにより前記マスクを投影光学系を介して被露光体に投影することを特徴とする露光方法を提供する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 コンタクトホールのパターンと、当該パターンよりも寸法が小さなパターンとが配列されたマスクを、前記コンタクトホールのパターンが解像され、且つ、前記寸法が小さなパターンの解像が抑制されるように、複数種の光で照明することにより前記マスクを投影光学系を介して被露光体に投影することを特徴とする露光方法。

【請求項2】 前記マスク上のコンタクトホールの寸法は前記被露光体に形成すべき本来のコンタクトホールの寸法とは異ならせていることを特徴とする請求項1記載の露光方法。

【請求項3】 前記複数種の光は光軸近傍に強度分布のピークを有する照明光と軸外に強度分布のピークを有する照明光であることを特徴とする請求項1記載の露光方法。

【請求項4】 前記複数種の光は前記マスクに大 σ の照明を行う光と小 σ の照明を行なう光であることを特徴とする請求項1記載の露光方法。

【請求項5】 前記複数種の光は前記所望のコンタクトホールのパターンの配列から生じる2つの回折光が前記投影光学系の瞳面上に入射するような第1の照明光と前記2つの回折光を直線的に結んで表される瞳面上の領域には回折光が入射しないような第2の照明光であることを特徴とする請求項1に記載の露光方法。

【請求項6】 前記第2の照明光は前記瞳面上で少なくとも一つの回折光が瞳に入射する部分を含むように設定される請求項5記載の露光方法。

【請求項7】 前記複数種の照明光は σ が0.9より大きい部分を有する有効光源を形成するものであることを特徴とする請求項1～6のいずれか1項に記載の露光方法。

【請求項8】 前記マスクを、前記コンタクトホールパターンが市松状に位相が0度と180度に設定された位相シフトマスクに構成することを特徴とする請求項3乃至7のうちいずれか一項に記載の露光方法。

【請求項9】 前記小さなパターンとしての補助パターンを複数種有し、当該複数種の補助パターンのうち前記所望のコンタクトホールのパターンに隣接する前記補助パターンの寸法を残りの前記補助パターンの寸法より小さくしたことを特徴とする請求項2、4、5、6又は7

記載の露光方法。

【請求項10】 前記マスクを照明する複数種の光は、外径の σ が0.9より大きい実質的に輪帯状の有効光源を形成する光と四重極状の光源を形成する光を有することを特徴とする請求項1記載の露光方法。

【請求項11】 コンタクトホールのパターンと、当該パターンよりも寸法が小さなパターンとが配列されたマスクを用い、前記コンタクトホールのパターンが解像され且つ前記小さなパターンの解像が抑制されるように、中央部に非円形の暗い部分を有する有効光源を形成する光で前記マスクを照明することにより前記マスクを投影光学系を介して被露光体に投影することを特徴とする露光方法。

【請求項12】 前記小 σ の照明光は、 σ が0.3以下の円形の有効光源を形成する光であることを特徴とする請求項4記載の露光方法。

【請求項13】 前記大 σ の照明光は、十字に配置された4つの図形の有効光源を形状する光であることを特徴とする請求項4記載の露光方法。

【請求項14】 前記大 σ の照明光は、輪帯の有効光源を形状することを特徴とする請求項4記載の露光方法。

【請求項15】 前記4つの図形の各照明光は等しい σ を有することを特徴とする請求項13記載の露光方法。

【請求項16】 前記大 σ の照明光は、照明光の中心位置の σ が0.6以上であることを特徴とする請求項4記載の露光方法。

【請求項17】 前記第1の照明光は、十字に配置された4つの有効光源を形成する請求項5、6又は7記載の露光方法。

【請求項18】 前記マスクは位相シフトマスクを用い、前記第2の照明光は、矩形、円形、又は略菱形の中抜けを有する矩形の有効光源形状を有する請求項5、6又は7記載の露光方法。

【請求項19】 前記マスクはバイナリー又はハーフトーンマスクを用い、前記第2の照明光は、十字に配置された4つの扇型の有効光源形状を有する請求項5、6又は7記載の露光方法。

【請求項20】 前記マスクは位相シフトマスクを用い、前記有効光源は以下に示すような形状を有する請求項5、6又は7記載の露光方法。



又は

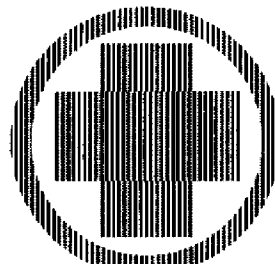
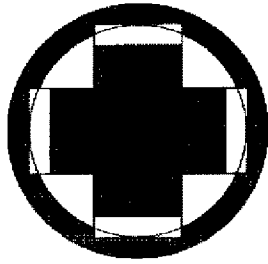


又は



【請求項21】 前記マスクはバイナリー又はハーフトーンマスクを用い、前記有効光源は以下に示すような形

状を有する請求項5、6又は7記載の露光方法。



【請求項 2 2】 前記有効光源は σ が 0.9 より大きい外径を有し、前記有効光源は円形の光源の中央部に前記非円形の暗い部分を形成したものであることを特徴とする請求項 1 1 に記載の露光方法。

【請求項 2 3】 前記有効光源の前記外径は σ が 1 より小さいことを特徴とする請求項 2 2 に記載の露光方法。

【請求項 2 4】 前記被露光体と前記パターン像の前記投影光学系の光軸方向に関する位置関係を変更しながら前記露光を複数回行うことを特徴とする請求項 1 乃至 2 3 のうちいずれか一項記載の露光方法。

【請求項 2 5】 前記所望のコンタクトホールのパターンの複数と補助パターンの複数とが行と列を成すように 2 次的に配置してあることを特徴とする請求項 1 乃至 2 3 のいずれか 1 項記載の露光方法。

【請求項 2 6】 前記補助パターンの形状は前記コンタクトホールのパターンと相似であることを特徴とする請求項 1 乃至 2 5 のいずれか 1 項記載の露光方法。

【請求項 2 7】 請求項 1 乃至 2 3 のうちいずれか一項記載の露光方法を行うことができる露光モードを有することを特徴とする露光装置。

【請求項 2 8】 開口絞りを有する照明光学系を更に有し、前記開口絞りは第 1 及び第 2 の光透過部と遮光部とを有し、前記第 1 の光透過部は前記第 2 のパターンの解像に寄与し、前記第 2 の光透過部は前記第 2 のパターンの光強度分布を強調し、前記第 1 及び第 2 の光透過部の面積比は 0.06 乃至 1.30 であることを特徴とする請求項 2 7 記載の露光装置。

【請求項 2 9】 開口絞りを有する照明光学系を更に有し、前記開口絞りは光透過部と可変の遮光部とを有することを特徴とする請求項 2 7 記載の露光装置。

【請求項 3 0】 コンタクトホール列の縦横の軸に相当する十字に配置された 4 つの図形からなる有効光源をもつ第 1 の照明とそれ以外の形状からなる有効光源をもつ第 2 の照明との照明光量比を調整する手段をもつことを特徴とする露光装置。

【請求項 3 1】 請求項 2 7 乃至 3 0 のいずれか一項記載の露光装置を用いて被処理体を投影露光するステップと、前記投影露光された前記被処理体に所定のプロセスを行うステップとを有するデバイス製造方法。

【請求項 3 2】 所望のコンタクトホールのパターンと、当該パターンよりも寸法が小さな補助パターンとが

又は

2 次的に配列されたマスクであって、前記補助パターンを複数種有し、当該複数種の補助パターンのうち前記所望のコンタクトホールのパターンに隣接する補助パターンの寸法が残りの補助パターンの寸法より小さいことを特徴とするマスク。

【請求項 3 3】 前記補助パターンは前記所望のパターンのホール径の約 55% 乃至約 90% に相当する大きさを有することを特徴とする請求項 3 2 記載のマスク。

【請求項 3 4】 複数のコンタクトホールのパターンと、当該パターンよりも寸法が小さな複数の補助パターンとが 2 次的に配列されたマスクであって、前記コンタクトホールパターンは市松状に位相が 0 度と 180 度に設定された位相シフトマスクからなることを特徴とするマスク。

【請求項 3 5】 コンタクトホールのパターンと当該パターンよりも寸法が小さなパターンとが配列されたマスクに対して前記コンタクトホールのパターンが解像できる第 1 の照明と該第 1 の照明によって前記小さなパターンに関連して生じる偽解像を抑制する第 2 の照明を行って投影露光を行うことを特徴とする露光方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、一般には、露光に関し、特に、IC、LSI などの半導体チップ、液晶パネルなどの表示素子、磁気ヘッドなどの検出素子、CCD などの撮像素子といった各種デバイス、マイクロメカニクスで用いる微細コンタクトホールパターンの製造に用いられる露光装置及び方法、デバイス製造方法、及び、前記被処理体から製造されるデバイスに関する。ここで、マイクロメカニクスは半導体集積回路製造技術を微細構造体の製作に応用し、高度な機能を持ったミクロン単位の機械システムやそれを作る技術をいう。

【0002】

【従来の技術】フォトリソグラフィ工程は、マスクパターンをシリコンウェハ、ガラスプレート等（以下、単に「ウェハ」という。）に塗布した感光性物質（レジスト）に露光装置を使用して転写する工程であり、レジスト塗布、露光、現像、エッチング、レジスト除去の工程を含む。このうち露光では、解像度、重ね合わせ精度、スループットの 3 つのパラメータが重要である。解像度は正確に転写できる最小寸法、重ね合わせ精度はウェハにパターンを幾つか重ね合わせる際の精度、スループット

トは単位時間当たり処理される枚数である。

【0003】フォトリソグラフィ技術を用いてデバイスを製造する際に、マスク又はレチクル（本出願ではこれらの用語を交換可能に使用する）に描画されたパターンを投影光学系によってウェハに投影してパターンを転写する投影露光装置が従来から使用されている。投影光学系はパターンからの回折光をウェハ上に干渉及び結像させ、通常の露光ではパターンからの0次及び±1次の回折光（即ち、三光束）を干渉させる。

【0004】マスクパターンは、近接した周期的なラインアンドスペース（L&S）パターン、近接及び周期的な（即ち、ホール径と同レベルの間隔で並べた）コンタクトホール列、近接せずに孤立した孤立コンタクトホールその他の孤立パターン等を含むが、高解像度でパターンを転写するためには、パターンの種類に応じて最適な露光条件（照明条件や露光量など）を選択する必要がある。

【0005】投影露光装置の解像度Rは、光源の波長 λ と投影光学系の開口数（NA）を用いて以下のレーリーの式で与えられる。

【0006】

【数1】

$$R = k_1 (\lambda / NA)$$

【0007】ここで、 k_1 は現像プロセスなどによって定まる定数であり、通常露光の場合には k_1 は約0.5～0.7である。

【0008】近年のデバイスの高集積化に対応して、転写されるパターンの微細化、即ち、高解像度化が益々要求されている。高解像力を得るには、上式から開口数NAを大きくすること、及び、波長 λ を小さくすることが有効であるが、これらの改善は現段階では限界に達しており、通常露光の場合にウェハに0.15 μ m以下のパターンを形成することは困難である。そこで、パターンを経た回折光の中で二光束を干渉及び結像させる位相シフトマスク技術が従来から提案されている。位相シフトマスクは、マスクの隣接する光透過部分の位相を180°反転することによって0次回折光を相殺し、2つの±1次回折光を干渉させて結像するものである。かかる技術によれば、上式の k_1 を実質的に0.25にすることができるので、解像度Rを改善してウェハに0.15 μ m以下のパターンを形成することができる。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかし、このような限界解像に近い微細なコンタクトホールの場合は隣り合う位相を180度変えると回折光が瞳面上では45度の方向で、光軸から大きな角度で回折される為、投影系の瞳から外へ飛び出してしまい、投影レンズの瞳を通ることが出来ず、解像されない。解像できるのは、L&Sの限界線幅の $\sqrt{2}$ 倍の微細パターンまでである。従って、L

&Sパターンの解像度と同等のコンタクトホール列の解像度を得る需要が存在している。

【0010】また、近年の半導体産業は、より高付加価値な、多種多様なパターンが混在するシステムチップに生産が移行しつつあり、マスクにも複数種類のコンタクトパターンを混在させる必要が生じてきた。しかし、従来の位相シフトマスク技術だけではコンタクトホール列と孤立コンタクトが混在したコンタクトホールパターンを同時に解像度良く露光できなかった。これに対して、2枚のマスクを用いて異なる種類のパターンを別々に露光する二重露光（又は多重露光）を使用することが考えられるが、従来の二重露光は、2枚のマスクを必要とするのでコストアップを招き、2回の露光のためにスループットが低下し、マスク交換2回の露光の高い重ね合わせ精度を必要とするため実用上解決すべき問題が多い。

【0011】そこで、微細な（例えば、0.15 μ m以下の）ホール径を持ち、コンタクトホールあるいは孤立コンタクトホールからコンタクトホール列までが混在するコンタクトホールパターンを、マスクを交換せずに、高解像度（即ち、コンタクトホール列については位相シフトマスクを用いたL&Sパターンと同等の解像度）で露光可能な露光方法及び装置を提供することを本発明の例示的目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明の一側面としての露光方法は、コンタクトホールのパターンと、当該パターンよりも寸法が小さなパターンとが配列されたマスクを、前記コンタクトホールのパターンが解像され、且つ、前記寸法が小さなパターンの解像が抑制されるように、複数種の光で照明することにより前記マスクを投影光学系を介して被露光体に投影することを特徴とする。かかる露光方法によれば、複数種の照明光（例えば、通常の輪帯照明とは異なる照明）を同時に又は順次利用して、被露光面の（レジストの）閾値を適当に選択することによって、現像後、所望のコンタクトホールパターンを被露光面に形成する。マスク及びデバイス製造方法も本発明の別の側面を構成する。

【0013】前記マスク上のコンタクトホールの寸法は前記被露光体に形成すべき本来のコンタクトホールの寸法とは異なってもよい。前記複数種の光は光軸近傍に強度分布のピークを有する照明光と軸外に強度分布のピークを有する照明光であってもよい。前記複数種の光は前記マスクに大 σ の照明を行う光と小 σ の照明を行なう光であってもよい。前記複数種の光は前記所望のコンタクトホールのパターンの配列から生じる2つの回折光が前記投影光学系の瞳面上に入射するような第1の照明光と前記2つの回折光を直線的に結んで表される瞳面上の領域には回折光が入射しないような第2の照明光であってもよい。

【0014】前記第2の照明光は前記障面上で少なくとも一つの回折光が瞳に入射する部分を含むように設定されてもよい。前記複数種の照明光は σ が0.9より大きい部分を有する有効光源を形成するものであってもよい。前記マスクを、前記コンタクトホールパターンが市松状に位相が0度と180度に設定された位相シフトマスクに構成してもよい。前記小さなパターンとしての補助パターンを複数種有し、当該複数種の補助パターンのうち前記所望のコンタクトホールのパターンに隣接する前記補助パターンの寸法を残りの前記補助パターンの寸法より小さくしてもよい。前記マスクを照明する複数種の光は、外径の σ が0.9より大きい実質的に輪帯状の有効光源を形成する光と四重極状の光源を形成する光を有してもよい。

【0015】また、本発明の別の側面としての露光方法は、コンタクトホールのパターンと、当該パターンよりも寸法が小さなパターンとが配列されたマスクを用い、前記コンタクトホールのパターンが解像され且つ前記小さなパターンの解像が抑制されるように、中央部に非円形の暗い部分を有する有効光源を形成する光で前記マスクを照明することにより前記マスクを投影光学系を介して被露光体に投影することを特徴とする。非円形の暗い部分は、例えば、十字形状を有する。上述のマスク及びその製造方法も本発明の一側面を構成する。

【0016】前記小 σ の照明光は、 σ が0.3以下の円形の有効光源を形成する光であってもよい。前記大 σ の照明光は、十字に配置された4つの図形の有効光源を形成してもよい。前記大 σ の照明光は、輪帯の有効光源を形成してもよい。前記4つの図形の各照明光は等しい σ を有してもよい。前記大 σ の照明光は、照明光の中心位置の σ が0.6以上であってもよい。前記第1の照明光は、十字に配置された4つの有効光源を形成してもよい。前記マスクは位相シフトマスクを用い、前記第2の照明光は、矩形、円形、又は略菱形の中抜けを有する矩形の有効光源を有してもよい。前記マスクはバイナリー又はハーフトーンマスクを用い、前記第2の照明光は、十字に配置された4つの扇型の有効光源形状を有してもよい。前記マスクは位相シフトマスクを用い、前記有効光源は様々な形状を有してもよい。前記有効光源は σ が0.9より大きい外径を有し、前記有効光源は円形の光源の中央部に前記非円形の暗い部分を形成してもよい。前記有効光源の前記外径は σ が1より小さくてもよい。前記被露光体と前記パターン像の前記投影光学系の光軸方向に関する位置関係を変更しながら前記露光を複数回行ってもよい。前記所望のコンタクトホールのパターンの複数と補助パターンの複数とが行と列を成すように2次的に配置してあってもよい。前記補助パターンの形状は前記コンタクトホールのパターンと相似であってもよい。

【0017】本発明の一側面としての露光装置は、上述

の露光方法を行う露光モードを有することを特徴とする。これらの露光装置も上述の露光方法の作用を奏することができる。開口絞りを有する照明光学系を更に有し、前記開口絞りは第1及び第2の光透過部と遮光部とを有し、前記第1の光透過部は前記第2のパターンの解像に寄与し、前記第2の光透過部は前記第2のパターンの光強度分布を強調し、前記第1及び第2の光透過部の面積比は0.06乃至1.30であってもよい。開口絞りを有する照明光学系を更に有し、前記開口絞りは光透過部と可変の遮光部とを有してもよい。

【0018】本発明の一側面としての露光装置は、コンタクトホール列の縦横の軸に相当する十字に配置された4つの図形からなる有効光源をもつ第1の照明とそれ以外の形状からなる有効光源をもつ第2の照明との照明光量比を調整する手段をもつことを特徴とする。

【0019】本発明の更に別の側面としてのデバイス製造方法は、上述の露光装置を用いて前記被処理体を投影露光するステップと、前記投影露光された前記被処理体に所定のプロセスを行うステップとを有する。上述の露光装置の作用と同様の作用を奏するデバイス製造方法の請求項は、中間及び最終結果物であるデバイス自体にもその効力が及ぶ。また、かかるデバイスは、例えば、LSIやVLSIなどの半導体チップ、CCD、LCD、磁気センサー、薄膜磁気ヘッドなどを含む。

【0020】本発明の別の側面としてのマスクは、所望のコンタクトホールのパターンと、当該パターンよりも寸法が小さな補助パターンとが2次的に配列されたマスクであって、前記補助パターンを複数種有し、当該複数種の補助パターンのうち前記所望のコンタクトホールのパターンに隣接する補助パターンの寸法が残りの補助パターンの寸法より小さいことを特徴とする。前記補助パターンは前記所望のパターンのホール径の約55%乃至約90%に相当する大きさを有してもよい。本発明の別の側面としてのマスクは、複数のコンタクトホールのパターンと、当該パターンよりも寸法が小さな複数の補助パターンとが2次的に配列されたマスクであって、前記コンタクトホールパターンは市松状に位相が0度と180度に設定された位相シフトマスクからなることを特徴とする。

【0021】本発明の別の側面としての露光方法は、コンタクトホールのパターンと当該パターンよりも寸法が小さなパターンとが配列されたマスクに対して前記コンタクトホールのパターンが解像できる第1の照明と該第1の照明によって前記小さなパターンに関連して生じる偽解像を抑制する第2の照明を行って投影露光を行うことを特徴とする。

【0022】なお、本願で σ と記載しているものは、投影光学系の開口絞りの開口（瞳）の直径に対する照明用絞りの開口像（有効光源）の如き対象の大きさや位置を示す。

【0023】本発明の更なる目的又はその他の特徴は、以下添付図面を参照して説明される好ましい実施例によって明らかにされるであろう。

【0024】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照して本発明の例示的な露光装置について説明する。ここで、図1は、本発明の露光装置の概略ブロック図である。図1に示すように、露光装置は、照明装置100と、マスク200と、投影光学系300と、プレート400と、ステージ450と、結像位置調節装置500とを有する。

【0025】本実施形態の露光装置は、ステップアンドスキャン方式でマスク200に形成された回路パターンをプレート400に露光する投影露光装置であるが、本発明はステップアンドリピート方式その他の露光方式を適用することができる。ここで、ステップアンドスキャン方式は、マスクに対してウェハを連続的にスキャンしてマスクパターンをウェハのあるショットに露光すると共に、このショットの露光終了後ウェハをステップ移動して、次のショットの露光領域に移動する露光法である。また、ステップアンドリピート方式は、ウェハのショットの一括露光ごとにウェハをステップ移動して次のショットを露光領域に移動する露光法である。

【0026】照明装置100は転写用の回路パターンが形成されたマスク200を照明し、光源部110と照明光学系120とを有する。

【0027】光源部110は、光源としてのレーザー112と、ビーム整形系114とを含む。

【0028】レーザー112は、波長約193nmのArFエキシマレーザー、波長約248nmのKrFエキシマレーザー、波長約157nmのF₂エキシマレーザーなどのパルスレーザーからの光を使用することができる。レーザーの種類はエキシマレーザーに限定されず、例えば、YAGレーザーを使用してもよいし、そのレーザーの個数も限定されない。例えば、独立に動作する2個の固体レーザーを使用すれば固体レーザー相互間のコヒーレンスはなく、コヒーレンスに起因するスペックルはかなり低減する。さらにスペックルを低減するために光学系を直線的又は回転的に揺動させてもよい。また、光源部110に使用可能な光源はレーザー112に限定されるものではなく、一又は複数の水銀ランプやキセノンランプなどのランプも使用可能である。

【0029】ビーム整形系114は、例えば、複数のシリンドリカルレンズを備えるビームエクスパンダ等を使用することができ、レーザー112からの平行光の断面形状の寸法の縦横比率を所望の値に変換する（例えば、断面形状を長方形から正方形にするなど）ことによりビーム形状を所望のものに成形する。ビーム成形系114は、後述するオプティカルインテグレート140を照明するのに必要な大きさと発散角を持つ光束を形成する。

【0030】また、図1には示されていないが、光源部

110は、コヒーレントなレーザー光束をインコヒーレント化するインコヒーレント化光学系を使用することが好ましい。インコヒーレント化光学系は、例えば、公開特許平成3年第215930号公報の図1に開示されているような、入射光束を光分割面で少なくとも2つの光束（例えば、p偏光とs偏光）に分岐した後で一方の光束を光学部材を介して他方の光束に対してレーザー光のコヒーレンス長以上の光路長差を与えてから分割面に再誘導して他方の光束と重ね合わせて射出されるようにした折り返し系を少なくとも一つ備える光学系を用いることができる。

【0031】照明光学系120は、マスク200を照明する光学系であり、本実施形態では、集光光学系130と、オプティカルインテグレート140と、開口絞り150と、コンデンサーレンズ160とを含む。照明光学系120は、軸上光、軸外光を問わず使用することができる。なお、本実施形態の照明光学系120は、プレート400上の転写領域の寸法を変更するためのマスキングブレードやスキャンブレードを有してもよい。本実施形態の照明光学系120は、複数のレンズ及び必要なミラーを有し、射出側でテレセントリックとなるアフォーカル系を構成している。

【0032】集光光学系130は、まず、必要な折り曲げミラーやレンズ等を含み、それを通過した光束をオプティカルインテグレート140に効率よく導入する。例えば、集光光学系130は、ビーム成形系114の出射面と後述するハエ目レンズとして構成されたオプティカルインテグレート140の入射面とが光学的に物体面と瞳面（又は瞳面と像面）の関係（かかる関係を本出願ではフーリエ変換の関係と呼ぶ場合がある）になるように配置されたコンデンサーレンズを含み、それを通過した光束の主光線をオプティカルインテグレート140の中心及び周辺のどのレンズ素子142に対しても平行に維持する。

【0033】集光光学系130は、マスク200への照明光の露光量を照明毎に変更可能な露光量調整部132を更に含む。露光量調整部132は、アフォーカル系の各倍率を変えることにより入射光束のビーム断面形状を変化させることができる。代替的に、露光量調整部132はズームレンズ等からなり、レンズを光軸方向に移動させ角倍率を変えられるようにしてもよい。必要があれば、露光量調整部132は、入射光束をハーフミラーにより分割してセンサにより光量を検出してかかる検出結果に基づいてレーザー112の出力及び／又は光学系の一部を調整することができる。露光量調整部132は、光学素子（例えば、光量調整（ND）フィルター）を入れ替えたり、及び／又は、ズームレンズにより結像倍率を変えたりすることにより、後述する開口絞り150の中央部と周辺部との光量比を調整することもできる。露光量調節部132は、前記所望のコンタクトホールのパ

ターン及び／又は前記プレート400において求められるコントラストに基づいて、露光量を調節することができる。本実施形態の露光量調整部132は、軸外に強度分布を有する照明光（大 σ 照明）の前記ピーク位置を調節する機能も有する。

【0034】オプティカルインテグレータ140はマスク200に照明される照明光を均一化し、本実施形態では、入射光の角度分布を位置分布に変換して出射するハエの目レンズとして構成される。ハエの目レンズは、その入射面140aと出射面140bとがフーリエ変換の関係に維持されている。但し、後述するように、本発明が使用可能なオプティカルインテグレータ140はハエの目レンズに限定されるものではない。

【0035】ハエの目レンズ140は互いの焦点位置がそれと異なるもう一方の面にあるレンズ（レンズ素子）142を複数個並べたものである。また、ハエの目レンズを構成する各レンズ素子の断面形状は、各レンズ素子のレンズ面が球面である場合、照明装置の照明領域と略相似である方が照明光の利用効率が低い。これは、ハエの目レンズの光入射面と照明領域が物体と像の関係（共役関係）であるからである。

【0036】ハエの目レンズは、本実施形態ではマスク200の形状に合わせて正方形断面のレンズ素子を多数組み合わせ構成されているが、本発明は、断面円形、長方形、六角形その他の断面形状を有するレンズ素子を排除するものではない。ハエの目レンズの出射面140b又はその近傍に形成された複数の点光源（有効光源）からの各光束をコンデンサーレンズ160によりマスク200に重畳している。これにより、多数の点光源（有効光源）によりマスク200全体が均一に照明される。

【0037】ハエの目レンズ140は光学ロッドに置換される場合もある。光学ロッドは、入射面で不均一であった照度分布を出射面で均一にし、ロッド軸と垂直な断面形状が照明領域とほぼ同一な縦横比を有する矩形断面を有する。なお、光学ロッドはロッド軸と垂直な断面形状にパワーがあると出射面での照度が均一にならないので、そのロッド軸に垂直な断面形状は直線のみで形成される多角形である。その他、ハエの目レンズ130は、拡散作用をもった回折素子に置換されてもよい。

【0038】オプティカルインテグレータ140の出射面140bの直後には、形状及び径が固定された開口絞り150が設けられている。本発明の開口絞り150は、コンタクトホール210を解像するための十字斜入射照明と、十字斜入射照明によって生じる偽解像を抑制する（即ち、偽解像パターンに対応する露光量は抑え（露光量の増加小）、所望のコンタクトホールパターンの露光量を強調する（露光量の増加大））ような照明とを利用してマスク200を照明するための開口形状を有する。開口絞り150は投影光学系300の瞳面320と共役な位置に設けられており、開口絞りの150の開

口形状は投影光学系300の瞳面320の有効光源形状に相当する。

【0039】本実施形態の例示的な形態としての開口絞り150は、光軸付近にピークを有する照明光と軸外にピークを有する照明光を利用して（即ち、これらを順次投射するか合成した状態で投射することによって）マスク200を照明するための開口形状を有する。このように、本発明は、光軸付近にピークを有する照明光をもたらず開口絞り150と、軸外にピークを有する照明光をもたらず開口絞りを用意して、そのうちの一方を先にマスク200に投射して、その後、他方をマスク200に投射する場合も含む。本発明の特徴の一つはマスク200の交換に伴う諸問題を解決することであり、マスク200が交換されない限り、開口絞り150の交換は問題ではないからである。

【0040】光軸近傍にピークを有する照明光は σ が0.3以下であり、0次回折光と ± 1 次回折光の干渉をもたらす。また、軸外にピークを有する照明光は σ が0.6以上であり、0次回折光と $+1$ 次又は -1 次回折光からなる二光束の干渉をもたらす。ここで、 σ は投影光学系300のマスク200側の開口数（NA）に対する照明光学系120のマスク200側のNAである。光軸近傍にピークを有する照明光は小 σ 照明、通常の照明と呼ばれる場合もある。軸外にピークを有する照明光は大 σ 照明、斜入射照明、変形照明などと呼ばれる場合もある。

【0041】図2乃至図7を参照して、開口絞り150に適用可能な例示的な形状を説明する。ここで、図2乃至図7は、開口絞り150の例示的な形状の概略平面図である。図2は、5重極照明用絞りとして構成された開口絞り150Aの概略平面図である。開口絞り150Aは、中心に1つの円151と、 $\sigma=1$ 以下の0度、90度、180度及び270度（即ち、十字形状に）に配置された4つの円152Aとを有する。開口絞り150Aは、円151及び152Aからなる透過率1の光透過部と、透過率0の遮光部153Aとを有する。ここで、図中の $\sigma=1$ の円は、投影光学系300の開口絞り150を各照明絞り上に逆投影したときの絞り150の開口の像の縁（円）に対応する。従って、本願の各図面で示す絞りの開口は、投影光学系の開口絞りの開口（ $\sigma=1$ ）上に投影される有効光源と言える。

【0042】円151は光軸付近にピークを有する円形照明光をもたらす。一方、円152Aは、軸外にピークを有する四重極照明光をもたらす。好ましくは、各円152Aがもたらす照明光の σ は等しい。開口絞り150Aの円151及び152Aは同一の大きさを有する。

【0043】軸外にピークを有する照明は、 σ の大きな照明、斜入射照明、変形照明などと呼ばれる場合もあり、様々な変形例を有する。例えば、4つの円152Aは他の任意の図形に置換されても良い。

【0044】例えば、円152Aは、図3に示す矩形152Bや図4に示す扇形152Cに置換されてもよい。ここで、図3及び図4は、開口絞り150Aの変形例としての、5重極照明用絞りとして構成された開口絞り150B及びCの概略平面図である。開口絞り150Bは、円151と矩形152Bからなる透過率1の光透過部と、透過率0の遮光部153Bとを有する。矩形152Bは、例示的に、一辺の長さが円151の直径と等しい正方形である。開口絞り150Cは、円151と扇形152Cからなる透過率1の光透過部と、透過率0の遮光部153Cとを有する。扇形152Cの寸法は任意に調節することができる。開口絞り150B及びCの機能は開口絞り150Aと同一であるので、ここでは詳しい説明は省略する。

【0045】また、開口絞り150は、図5に示す開口絞り150Dを使用してもよい。開口絞り150Dは、四重極の代わりに輪帯開口154Aを有している。ここで、図5は、輪帯照明用絞りとして構成された開口絞り150Dの概略平面図である。開口絞り150Dは、円151と輪帯154Aからなる透過率1の光透過部と、透過率0の遮光部153Dとを有するが、それらの機能については開口絞り150Aと同一であるので詳しい説明は省略する。

【0046】更に、開口絞り150は、図6及び図7に示す開口絞り150E及び150Fを使用してもよい。開口絞り150E及び150Fは σ が1を部分的に超えた光透過部154B及び152Dを有する。本発明者は σ が1を部分的に超えた照明光を利用するとプレート400に形成されるパターン像が明確になることを発見した。ここで、図6及び図7は、輪帯照明用絞りとして構成された開口絞り150E及び四重極照明用絞りとして構成された開口絞り150Fの平面図である。開口絞り150Eは、円151と $\sigma=1$ を部分的に超えた輪帯（又は矩形帯）154Bからなる透過率1の光透過部と、透過率0の遮光部153Eとを有し、開口絞り150Fは、円151と $\sigma=1$ を部分的に超えた矩形152Dとからなる透過率1の光透過部と、透過率0の遮光部153Fとを有するが、それらの機能については開口絞り150Aと同一であるので詳しい説明は省略する。

【0047】また、本実施形態の別な例示的な形態としての開口絞り150は、マスク200によって生じる回折光のうち2つの回折光が投影光学系300の瞳面320に入射するような照明光（この照明光を便宜的に第1の照明光とする。）と、投影光学系300の瞳面320であって第1の照明光を邪魔しないような領域（瞳面320上で2つの回折光位置を直線的に結んで表させる領域を除く領域）に少なくとも一つの回折光が入射するような照明光とを利用して（即ち、これらを順次投射するか合成した状態で投射することによって）マスク200を照明するための開口形状を有する。このように、本

発明は、2つの回折光が投影光学系300の瞳面320に入射するような照明光をもたらす開口絞りと、投影光学系300の瞳面320であって且つかかる照明光を邪魔しないような領域にどれか一つの回折光が入射するような照明光をもたらす開口絞りを用意して、そのうちの一方を先にマスク200に投射して、その後、他方をマスク200に投射する場合も含む。本発明の特徴の一つはマスク200の交換に伴う諸問題を解決することであり、マスク200が交換されない限り、開口絞り150の交換は問題ではないからである。

【0048】2つの回折光が投影光学系300の瞳面320に入射するような有効光源に対応する（第1の）照明光は、図9に示し後述される位相シフトマスク200Aにおいては ± 1 次回折光の二光束の干渉、図8に示し後述する（バイナリー）マスク200においては0次回折光と $+1$ 次回折光又は -1 次回折光との二光束の干渉をもたらす。一方、第1の照明光を邪魔しないような領域に少なくとも一つの回折光が瞳面320上に入射するような有効光源に対応する照明光は、第1の照明光によって生じるプレート400面上でコンタクトホール210に相当するコンタクトホールパターンの露光量を強調する。

【0049】図21乃至図24を参照して、開口絞り150に適用可能な例示的な形状を説明する。ここで、図21乃至図24は、開口絞り150の例示的な形状の概略平面図である。図21は、図9に示し後述される位相シフトマスク200Aに適用されて、十字型の照明で中心部が矩形の有効光源を有する変形照明用絞りとして構成された開口絞り150Gの概略平面図である。開口絞り150Gは、0度、90度、180度及び270度（即ち、十字形状に）に配置されて半径方向に長手に形成された4つの矩形155と、中心に1つの矩形156とを有する。開口絞り150Gは、矩形155及び156からなる透過率1の光透過部と、透過率0の遮光部153Gとを有する。ここで、図中の $\sigma=1$ の円は、投影光学系300の開口絞り150を各照明絞りに逆投影したときの絞り150の開口の像の縁（円）に対応する。従って、本願の各図面で示す絞りの開口は、投影光学系の開口絞りの開口（ $\sigma=1$ ）上に投影される有効光源と言える。

【0050】矩形155は、4つの矩形155のそれぞれにより斜入射照明が行われるように位置を設定することで、2つの回折光（ ± 1 次回折光）が投影光学系300の瞳面320に入射する照明光をもたらす、プレート400面上で干渉縞を形成する。一方、矩形156は、投影光学系300の瞳面320であって且つ第1の照明光を邪魔しないような領域に少なくとも一つの回折光が入射する照明光をもたらす、偽解像パターンを抑制しコンタクトホールパターンを強調する。

【0051】投影光学系300の瞳面320であって且

つ第1の照明光を邪魔しないような領域に少なくとも一つの回折光が入射する照明は、様々な変形例を有する。例えば、矩形156は他の任意の図形に置換されても良い。

【0052】例えば、矩形156は、図22に示す中央に遮光部153H₂を有する矩形156Aや図23に示す円形157に置換されてもよい。ここで、図22及び図23は、開口絞り150Gの変形例としての、開口絞り150H及びIを示す概略平面図である。開口絞り150Hは、上述した4つの矩形155と中央に遮光部153H₂を有する矩形156Aからなる透過率1の光透過部と、透過率0の遮光部153H₁及び153H₂とを有する。矩形156Aは、一つの回折光のみが瞳面320に入射する領域を厳密に画定するために、矩形156の中心部に略菱形の遮光部153H₂を有する。開口絞り150Iは、上述した4つの矩形155と円形157からなる透過率1の光透過部と、透過率0の遮光部153Iとを有する。開口絞り150Iは、一つの回折光のみが瞳面320に入射する領域を簡単な有効光源とするため、矩形156に内接するような円形157形状を有している。開口絞り150H及び150Iの機能は開口絞り150Gと同一であるので、ここでは詳しい説明は省略する。

【0053】また、図24は、図8に示し後述されるバイナリーマスク200に適用されて、中心が非円形状であるところの十字形状に遮光された有効光源分布を与える変形照明用絞りとして構成された開口絞り150Jの概略平面図である。図24Aにおいて開口絞り150Jは、0度、90度、180度及び270度（即ち、十字形状に）に配置されて半径方向と直交する方向に長手に形成された4つの矩形158と、当該矩形158から45度傾いて0度、90度、180度及び270度（即ち、十字形状に）に配置された扇型159とを有する。開口絞り150Gは、矩形158及び扇型159からなる透過率1の光透過部と、透過率0の外周に位置する遮光部153J₁及び中心に十字形状を有する遮光部153J₂とを有する。なお、ここでは光透過部を矩形158と扇形159とを独立して記載したが、通常これらは連続する一つの光透過部として構成される。その一例としての本発明に係る絞りの好ましい形態の一例が図24Bに示してある。

【0054】矩形158は、4つの矩形158のそれぞれが斜入射照明を行うように位置を設定することで、2つの回折光（0次回折光と+1次回折光又は-1次回折光）が投影光学系300の瞳面320に入射する有効光源分布を有する照明光をもたらす、プレート400面上で干渉縞を形成する。一方、扇形159は、投影光学系300の瞳面320であって且つ第1の照明光を邪魔しないような領域に少なくとも一つの回折光が入射する有効光源分布を有する照明光をもたらす、偽解像パターン

を抑制しコンタクトホールパターンを強調する。

【0055】以上説明した照明用開口絞り150A～150Jは、 $\sigma=1$ に達する有効光源を作り出していることに特徴があり、我々の検討によれば $\sigma>0.9$ の位置に有効光源の最も外側（軸外）の部分があるのが好ましい。例えば図24Bの絞りにおける有効光源は外側の円の直径が $\sigma=0.92$ の担当する大きさをもつ。この外側の円の直径は $0.9<\sigma<1$ が好ましい。

【0056】複数種類の開口絞り150の中から所望の開口絞り150を選択するためには、開口絞り150A乃至150F及び150G乃至150Jを、例えば、図示しない円盤状ターレットに配置して切り替えの際にターレットを回転させればよい。なお、かかるターレットには光軸にピークを有する照明光のみを与える円形開口を有する開口絞りや軸外にピークを有する照明光のみを与える（図18に示すような）開口絞りを搭載することができる。これにより、照明装置120は、まず、光軸にピークを有する照明光及び軸外にピークを有する照明光のうち的一方によりマスク200を照明し、その後、他方によりマスク200を照明することができる。光軸にピークを有する照明光と軸外にピークを有する照明光とが合成された照明光において、上述の露光量調整部132は、それぞれの露光量比を変化させることができる。

【0057】また、同様に、かかるターレットには2つの回折光が投影光学系300の瞳面320に入射するような照明光のみを与える十字に配された4つの矩形155又は矩形158が形成された開口を有する開口絞りや、一つの回折光が入射するような照明光のみを与える矩形156（又は、矩形156A、円形157）又は4つの扇型159が形成された開口を有する開口絞りを搭載することができる。これにより、照明装置120は、まず、2つの回折光が投影光学系300の瞳面320に入射するような照明光及び一つの回折光が入射するような照明光のうち的一方によりマスク200を照明し、その後、他方によりマスク200を照明することができる。両者の照明光とが合成された照明光において、上述の露光量調整部132は、それぞれの露光量比を変化させることができる。

【0058】コンデンサーレンズ160はハエの目レンズ140から出た光をできるだけ多く集めて主光線が平行、すなわちテレセントリックになるようにマスク200をケーラー照明する。マスク200とハエの目レンズ140の出射面140bとはフーリエ変換の関係に配置されている。

【0059】露光装置は、必要があれば、照度ムラ制御用の幅可変スリットや走査中の露光領域制限用のマスキングブレード（絞り又はスリット）等を有する。マスキングブレードが設けられる場合にはマスキングブレードとハエの目レンズ140の出射面140bとはフーリエ

変換の關係に配置され、マスク200面と光学的に略共役な位置に設けられる。マスクングブレードの開口部を透過した光束をマスク200の照明光として使用する。マスクングブレードは開口幅を自動可変できる絞りであり、後述するプレート400の（開口スリットの）転写領域を縦方向で変更可能にする。また、露光装置は、プレート400の（1ショットのスキャン露光領域としての）転写領域の横方向を変更可能にする、上述のマスクングブレードと類似した構造のスキャンブレードを更に有してもよい。スキャンブレードも開口幅が自動可変できる絞りであり、マスク200面と光学的にほぼ共役な位置に設けられる。これにより露光装置は、これら二つの可変ブレードを用いることによって露光を行うショットの寸法に合わせて転写領域の寸法を設定することができる。

【0060】マスク200は、例えば、石英製で、その上には転写されるべき回路パターン（又は像）が形成され、図示しないマスクステージに支持及び駆動される。マスク200から発せられた回折光は投影光学系300を通りプレート400上に投影される。プレート400は、被処理体でありレジストが塗布されている。マスク200とプレート400とは光学的に共役の關係に配置される。本実施形態の露光装置はステップアンドスキャン方式の露光装置（即ち、スキャナー）であるため、マスク200とプレート400を走査することによりマスク200のパターンをプレート400上に転写する。なお、ステップアンドリピート方式の露光装置（即ち、「ステッパー」）であれば、マスク200とプレート400とを静止させた状態で露光を行う。

【0061】マスクステージは、マスク200を支持して図示しない移動機構に接続されている。マスクステージ及び投影光学系300は、例えば、床等に載置されたベースフレームにダンパ等を介して支持されるステージ鏡筒定盤上に設けられる。マスクステージは、当業界周知のいかなる構成をも適用できる。図示しない移動機構はリニアモータなどで構成され、XY方向にマスクステージを駆動することでマスク200を移動することができる。露光装置は、マスク200とプレート400を図示しない制御機構によって同期した状態で走査する。

【0062】本発明の一側面としてのマスク200は、その上に2次元に配列されたコンタクトホールパターンが形成され、所望の位置のコンタクトホール径を他のコンタクトホール径よりも大きくされている。

【0063】本発明のマスク200のパターン構成を説明するために、まず、所望のコンタクトホールのパターンを説明する。ここで、所望のコンタクトホールのパターンを、例えば、図14に示すようなパターンとする。ここで、図14は、所望のコンタクトホールのパターンを形成したバイナリーマスク20Aの概略平面図である。バイナリーマスク20Aは、透過率1の光透過部2

2と透過率0の遮光部24Aとから構成されて、各光透過部22の位相は等しい。コンタクトホール22は、ホール径をPとすると横方向（X方向）にピッチ $P_x = 2P$ で整列し、縦方向（Y方向）にピッチ $P_y = 4P$ で整列して、コンタクトホール列を2次的に形成する。ここで、コンタクトホール22のホール径は約 $0.15\mu\text{m}$ 以下、例えば、 $0.12\mu\text{m}$ とする。後述する投影光学系300はKrF（波長 248nm ）でNAを0.60とする。この場合、数式1に示す k_1 ファクターは0.29である。

【0064】図15は、開口絞り150が円形開口151のみを有する絞りを使用して（即ち、垂直入射する小 σ 照明を使用して）マスク20Aを照明した場合に後述する投影光学系300の瞳面320上に現れる回折光の分布を示す概略平面図である。バイナリーマスク20Aを小 σ 照明で垂直に照明すると、上述したように、0次回折光と ± 1 次回折光とが生じる。コンタクトホール22のホール径が微小であり、X方向にホール径Pの2倍のピッチ P_x で整列しているため、図15のX方向には0次回折光だけが瞳320上に入射して ± 1 次回折光は瞳320からはずれてしまい、被露光面（プレート400）上にはパターンができない。一方、コンタクトホール22はY方向にホール径Pの4倍のピッチ P_y で整列しているため、このピッチ P_y に相当する ± 1 次回折光は瞳320に入射するが、ホール径Pに相当する回折光は瞳320の外側にはみ出し、所望のパターンにはならない。照明光を軸外にピークを有する照明光として、回折光を投影光学系の瞳の内側に入れることによりある程度は解像することは可能であるが、それだけでは、ホール像の形状が悪く、焦点深度内での結像特性も悪い。

【0065】そこで、所望のコンタクトホール22と同一のホール径のダミーのコンタクトホール26を図14に示す所望のコンタクトホール22に加えることによって、所望のコンタクトホール22のパターンとダミーのコンタクトホール26のパターンとが2次的に配列されたコンタクトホールパターンを有するバイナリーマスク20Bを、図16に示すように、作成した。ここで、図16はマスク20Bの概略平面図である。バイナリーマスク20Bはコンタクトホール22及び26からなる透過率1の光透過部と、透過率0の遮光部24Bとを有する。また、各光透過部の位相は全て等しく0度に設定されている。

【0066】図17（a）は、開口絞り150に4つの円形開口32を有する図18に示す十字（四重極）照明絞り15を使用して（即ち、斜めに入射する軸外にピークを有する照明光を使用して）マスク20Bを照明した場合に後述する投影光学系300の瞳面320上に現れる回折光の分布を説明するための概略平面図である。ここで、図18は、十字（四重極）照明絞り30の概略平面図である。絞り30は、絞り150Aから中心円15

1が除去された絞りに相当し、4つの円152と同一の4つの円32からなる透過率1の光透過部と、透過率0の遮光部34とを有する。

【0067】図17(a)及び(b)は、垂直照明光を十字照明光に変更すると図15に示す状態から図35に示す状態に変化することを示している。これは、図15において、例えば、右側(X方向)の+1次回折光は斜入射照明により左側に移動して0次回折光が端面320の左側に+1次回折光が端面320の右側に入射することから理解されるであろう(図17(a)に示す320cに相当)。

【0068】バイナリーマスク20Bを小さな σ の照明光で垂直に照明すると、上述したように、0次回折光と+1次又は-1次回折光とが生じる。4つの開口152を介して4方向から各々斜入射することにより、端面320a乃至dには0次回折光と+1次又は-1次回折光とが入射し、図17(b)は、これが構成されて端面320の光強度分布が形成されることを示している。これより、図16に示す微細なコンタクトホールパターンは、軸外にピークを有する照明光によって露光できるが、このままでは所望のコンタクトホール22のパターンだけでなくダミーのコンタクトホール26のパターンもプレート400に転写してしまうことが理解される。

【0069】以下、図8を参照して本実施形態のマスク200を説明する。ここで、図8はマスク200の概略平面図である。マスク200は、マスク20Bにおいて所望のコンタクトホール22のみのホール径を拡大することによって構成されている。マスク200には、図8に示すように、所望のコンタクトホール210のパターンと、ダミーのコンタクトホール220のパターンとが2次元的に配列されたコンタクトパターンが形成されている。マスク200は、コンタクトホール210及び220からなる透過率1の光透過部と、透過率0の遮光部230とを有するバイナリーマスクである。また、各光透過部の位相は全て等しく0度に設定されている。所望のコンタクトホール210は、ダミーのコンタクトホール220よりもホール径が約25%大きいので露光量が増加する。

【0070】また、本発明の一の形態は、上述した開口絞り150(150A乃至150F)を利用してマスク200を光軸付近にピークを有する照明光と軸外にピークを有する照明光とが合成された照明光によって露光を行う。軸外にピークを有する照明光によりマスク200を照明するとコントラストが強調された周期性のあるコンタクトホールパターンの強度分布をプレート400上で得ることができる。光軸付近にピークを有する照明光によりマスク200を照明すると所望のコンタクトホール22のパターンが強調された、周期性のないパターンの強度分布をプレート400上で得ることができる。また、本発明の別の形態は、上述した開口絞り150G乃

至150Jを利用してマスク200を、当該マスク200によって生じる回折光のうち2つの回折光が投影光学系300の端面320に入射するような照明光(この照明光を便宜的に第1の照明光とする。)と投影光学系300の端面320であって第1の照明光を邪魔しないような領域に少なくとも一つの回折光が入射するような照明光とが合成された照明光によって露光を行う。2つの回折光を端面320に入れることにより二光束の干渉縞をもたらし、コントラストが強調された周期性のあるコンタクトホールパターンの強度分布をプレート400上で得ることができる。一つの回折光を端面320上で第1の照明光を邪魔しないような領域に入れることにより、第1の照明光によって生じる偽解像パターンが抑制されコンタクトホールパターンが強調される強度分布をプレート400上で得ることができる。

【0071】この結果、これら2つの照明光を合成すると共に、後述するプレート400レジストの閾値を適宜に選択することによって、1回の露光で所望のコンタクトホール210のパターンをプレート400のレジストに、高品質に(即ち、所望のコンタクトホール210の形状をそそえて、かつ、焦点深度内で変動しても結像性能良く)転写することができる。

【0072】マスク200は、図9に示すマスク200Aに置換されてもよい。ここで、図9(A)はマスク200Aの概略平面図であり、図9(B)はマスク200Aの光透過部の位相状態を説明するための概略平面図である。マスク200Aは、図9(A)に示すように、かつ、マスク200と同様に、所望のコンタクトホール210のパターンとダミーのコンタクトホール220のパターンとが2次元的に配列されたコンタクトホールパターンが形成されている。しかし、マスク200Aは位相シフトマスクである点でマスク200と相違する。即ち、マスク200Aは、図9(B)に示すように、コンタクトホールパターンが隣接するコンタクトホール240及び250が市松状に位相が0度と180度に設定されている。位相シフトマスクを使用すると、隣接する光透過部を通過する0次回折光が打ち消されるので、 ± 1 次回折光が結像に使用される。 ± 1 次回折光は光強度が等しいので、0次回折光と+1次又は-1次回折光を使用する場合に比べて、干渉縞として得られるパターンのコントラストは大きくなり、プレート400上に良好なパターンが得られることになる。

【0073】位相シフトマスク200Aを使用した場合の回折について図12を参照してより詳しく説明する。ここで、図12は、位相シフトマスク200Aを開口絞り150Aを使用して照明した場合に軸外にピークを有する照明光によって端面320に現れる回折光の分布である。

【0074】一方、十字垂直入射の場合には図12に示すように全ての回折光が端面320からはずれて結像し

ないが、照明光を十字斜入射とすると各回折光の瞳面320上の位置は矢印で示す方向にずれ、黒丸で示す位置に移動する。瞳面320上の縦方向2つの回折光の干渉縞による横線状の強度分布と、横方向2つの干渉縞による縦線状の強度分布がプレート400面上では重なり、交点に所望のコンタクトホール210のパターンが形成される。所望のコンタクトホール210のホール径を大きくしてあるので、所望のコンタクトホールのみ強度が大きく、レジストの閾値をこの部分が像となるように設定してやることにより、所望のパターンを得ることができる。

【0075】一方、光軸付近にピークを有する照明光は所望のコンタクトホール形状を他の軸外のピークを持つ照明と合わせて良くする効果を示す。

【0076】図12に示す状態は、当初45度の位置にあった回折光が1の位置に移動しているために解像度は $(1/\sqrt{2})$ となる。換言すれば、位相シフトマスク200Bと軸外にピークを有する照明光を組み合わせることにより、従来はL&Sパターンの解像線幅の $\sqrt{2}$ 倍までがコンタクトホールパターンの限界解像に近い解像度であったものが、L&Sパターンの解像線幅と同様の解像度を得られるようになっている。

【0077】また、コンタクトホールのピッチが小さいと位相シフトマスク200Aを用いて少 σ 照明をした場合には、投影光学系300の瞳面320上における回折光は瞳から外れてしまう。このように、コンタクトホールのピッチが小さいと回折光は、図25に示すように黒丸で示す1乃至4の位置に回折され、このような条件のもとではパターンが形成されない。ここで、図25は、図9に示す位相シフトマスク200Aに小 σ 照明したときの瞳面320上の回折光の位置と、斜入射照明をしたときの回折光の移動する位置を示した模式図である。

【0078】そこで、これらの回折光が瞳に入るような照明をする必要がある。例えば、2つの回折光2及び4が図25に実線の矩形で示されるような瞳面320上の領域に入射するようにするには、図26(a)で示される有効光源面において暗い矩形として示される領域aに斜入射照明を設定すればよい。これにより、2'、4'で示される回折光は明るい矩形として示される領域bにそれぞれ移動し、図25に実線で示す矩形領域に回折光2及び4が入射して瞳に入射することになる。一つの矩形で示される有効光源で2つの回折光が瞳に入射し、両者の干渉によりプレート400面上に等ピッチの直線状の干渉縞が形成される。このような矩形の有効光源領域aを図26(b)に示すように4つ組み合わせることにより、プレート400面上には縦と横の等ピッチ直線状の干渉縞が形成され、光強度の重なった交点に強度が大きい部分と小さい部分が2次元周期的に現れる。このときの有効光源分布は図26(c)に示すような半径方向に長手を有する十字の矩形となる分布を有する。こ

で、図26は有効光源分布を説明するための模式図である。

【0079】位相シフトマスク200Aのように、マスク上のパターンとして所望の部分のみコンタクトホールのホール径の大きさを大きくしておけば、その部分のみ周辺より強度が大きく、所望のコンタクトホールが形成されることになる。しかしながら、十字斜入射照明（即ち、2つの回折光が瞳に入射するような照明）のままではプレート400面上での露光量は図27に示す細い実線で描かれた波線のようになり、所望径露光量レベル（レジストの閾値）においては、所望パターン P_1 の間に偽解像パターン P_2 が生じてしまう。ここで、図27は十字斜入射照明及び本発明の変形照明における露光量及び当該露光量に対応するパターン400上での像を示した図である。

【0080】そこで、偽解像を抑制するための方法を本発明者が鋭意検討した結果、図28に示すように、瞳面上で2つの回折光位置を直線的に結んで表される領域cを除き、1つの回折光のみ瞳面320に入射するような有効光源分布を加えることでパターン400上の偽解像をなくすることができることを発見した。ここで、図28は、瞳面320上の回折光の入射位置を示した模式図である。このような照明を行うためには、例えば、1つの回折光2又は4が図28に黒色の扇型で示されるような瞳面320に入射するようにすればよく、図29(a)で示される有効光源面において暗い円形の領域aとして示されるように照明を設定すればよい。これにより、2'又は4'で示される回折光は明るい矩形として示される領域bにそれぞれ移動し、図28に示す黒色の扇型を含む実線で示す矩形領域に回折光2又は4が入射するので、回折光が瞳面320に入射することになる。このような円形の有効光源領域aを図29(b)に示すように4つ組み合わせることにより、このときの有効光源分布は図29(c)に示すような円形の有効光源となる。ここで、図29は有効光源分布を説明するための模式図である。

【0081】このように、2つの回折光が瞳に入射する有効光源分布（図26(c)参照）と1つの回折光が瞳に入射する有効光源分布（図29(c)参照）を足し合わせた図30に示されるような十字型の照明で中心部が矩形の有効光源を持つ変形照明となる。このような有効光源分布を有する変形照明を行うことで、プレート400面上での露光量は図27に示す太い実線で描かれた波線のようになり、所望径露光量レベル（レジストの閾値）において、マスク200Aの所望のパターンに相当する部分の露光量のみが増加され、偽解像パターンが消失した所望パターン P_3 のみを得ることができる。ここで、図30は有効光源形状を示した図である。

【0082】なお、1つの回折光のみ瞳面320に入射するようにするためには、上述したように、例えば、1

つの回折光 2 又は 4 が図 2 8 に黒色の扇型で示されるような瞳面 3 2 0 に入射するように照明すればよく、図 3 1 (a) で示される有効光源面において暗い扇型の領域 a として示されるように照明を設定してもよい。これにより、2' 又は 4' で示される回折光は明るい扇型として示される領域 b にそれぞれ移動し、図 2 8 に示す黒色の扇型領域に回折光 2 又は 4 が入射して瞳面 3 2 0 に入射することになる。このような扇型の有効光源領域 a を図 3 1 (b) に示すように 4 つ組み合わせることにより、このときの有効光源分布は図 3 1 (c) に示すような中心に略菱形の中抜けを有する矩形の有効光源となる。ここで、図 3 1 は有効光源分布を説明するための模式図である。

【0083】このように、2 つの回折光が瞳に入射する有効光源分布 (図 2 6 (c) 参照) と 1 つの回折光が瞳に入射する有効光源分布 (図 3 1 (c) 参照) を足し合わせた図 3 2 に示されるような十字型の照明で中心部が矩形で、かつ矩形の中心部が略菱形の中抜けの有効光源を持つ変形照明となる。かかる有効光源によれば、1 つの回折光のみが瞳に入射する領域が厳密に画定されており、無駄な領域に光を入れないのでその分効率的である。ここで、図 3 2 は有効光源形状を示した図である。

【0084】また、1 つの回折光のみ瞳面 3 2 0 に入射するようにするためには、上述したように、例えば、1 つの回折光 2 又は 4 が図 2 8 に示される黒色の扇型に内接する円内に入射するように照明するに足りるものであり、図 3 3 (a) で示される有効光源面において暗い円形の領域 a として示されるように照明を設定してもよい。これにより、2' 又は 4' で示される回折光は領域 a と重なる円形の領域 b にそれぞれ移動し、図 2 8 に示す黒色の扇型に内接する領域に回折光 2 又は 4 が入射して瞳面 3 2 0 に入射することになる。このような円形の有効光源領域 a を図 3 3 (b) に示すように 4 つ組み合わせることにより、このときの有効光源分布は図 3 3 (c) に示すような円形の有効光源となる。ここで、図 3 3 は有効光源分布を説明するための模式図である。

【0085】このように、2 つの回折光が瞳に入射する有効光源分布 (図 2 6 (c) 参照) と 1 つの回折光が瞳に入射する有効光源分布 (図 3 3 (c) 参照) を足し合わせた図 3 4 に示されるような十字型の照明で中心部が円形の有効光源を持つ変形照明となる。かかる有効光源によれば、一つの回折光のみが瞳に入射する領域を簡単な有効光源形状として設定することができる。ここで、図 3 4 は、有効光源形状を示した図である。

【0086】図 2 5 乃至図 3 4 を参照して位相シフトマスク 2 0 0 の回折光について説明したように、かかる変形照明は上述した開口絞り 1 5 0 G 乃至 1 5 0 I を用いることで可能となることが理解されるが、かかる開口絞り 1 5 0 G 乃至 1 5 0 I の形状や寸法などはこれらの回折光の特性を考慮した上で決定されなければならないこ

とは言うまでもない。

【0087】一方、コンタクトホール 2 1 0 のピッチが小さいとマスク 2 0 0 (又は透過率の異なるハーフトーンマスク) を用いて小 σ 照明をした場合には、投影光学系 3 0 0 の瞳面 3 2 0 上における回折光は、0 次回折光を除き他の回折光は瞳外へ外れてしまう。図 3 5 に示すように、瞳中心を通る 0 次回折光 1 0 が生ずる。また、他の回折次数の回折光は瞳面上において、位相シフトマスクとは異なる位置へ来る。すなわち、回折光 1 1 乃至 1 8 のようになる。よって、0 次以外の回折光は図 3 5 のように投影レンズの瞳の外へ出てしまい、このような条件のもとではパターンが形成されない。ここで、図 3 5 は、図 9 に示すバイナリマスク 2 0 0 に小 σ 照明したときの瞳面 3 2 0 上の回折光の位置と、斜入射照明をしたときの回折光の移動する位置を示した模式図である。

【0088】そこで、これらの回折光 1 1 乃至 1 8 が瞳に入るような照明をする必要がある。例えば、2 つの回折光 1 0 及び 1 5 を例にとり、かかる回折光が図 3 5 に示す瞳面 3 2 0 の斜線領域に来るようにするには、図 3 6 で示される有効光源面において、暗い矩形の領域 a で示されるように斜入射照明を設定する。1 0' 及び 1 5' で示される回折光はクロス及び斜線で示す矩形領域 b_1 及び b_2 にそれぞれ移動し、投影光学系 3 0 0 の瞳両端に入射することになる。一つの矩形で示される有効光源で 2 つの回折光が瞳に入射し、両者の干渉によりプレート 4 0 0 面上に等ピッチの直線状の干渉縞が形成される。同様に、2 つの回折光 1 0 及び 1 7 においても 1 0 及び 1 5 で説明した斜入射照明を設定することができる。このような矩形の有効光源領域を図 3 7 に示すように 4 つ組み合わせることにより、プレート 4 0 0 面上には縦と横の等ピッチ直線状の干渉縞が形成され、光強度の重なった交点に強度が大きい部分と小さい部分が 2 次元周期的に現れる。このときの有効光源形状を図 4 0 (a) に示すように、十字に配置された瞳の半径方向に直行する方向に長手を有する 4 つの矩形となる。

【0089】マスク 2 0 0 上のコンタクトホール 2 1 0 として所望の部分のみ大きさを大きくしてあるので、その部分のみ周辺より強度が大きく、所望のコンタクトホールパターンが形成されることになる。しかしながら、単に十字型の斜入射照明をただけではプレート 4 0 0 面上のパターンには、図 3 8 (a) 及び (b) に示すように偽解像パターンが生じてしまい、所望のコンタクトホールパターン以外にも不必要なパターンが生まれてしまう。ここで、図 3 8 は十字型開口絞り及び本実施形態の開口絞り、当該開口絞りに対して斜入射照明を行ったときのパターン 4 0 0 面上での解像パターンのシミュレーションを示した図である。

【0090】そこで、図 3 5 に示すように、瞳面 3 2 0 上で 2 つの回折光位置を直線的に結んで表される領域 c を除き、少なくとも 1 つの回折光のみ瞳面 3 2 0 に入射

する有効光源分布を加える。この場合は一つの回折光としては0次光とするのが斜入射角を小さくできるので都合が良い。図39に有効光源分布の一例を示す。このような照明を行うためには、例えば、1つの回折光10'が有効光源面において暗い扇型の領域aとして示されるように照明を設定すればよい。これにより、10'で示される回折光は明るい扇型として示される領域bにそれぞれ移動し、回折光が瞳面320に入射することになる。このような条件に相当するものは合計4つ存在し、結局図40(b)に示すような形の有効光源となる。

【0091】このように、照明系は、2つの回折光が瞳に入射する有効光源分布(図40(a)参照)と、1つの回折光が瞳に入射する有効光源分布(図40(b)参照)を足し合わせた、図40(c)に示されるような中央が十字状に抜けた有効光源を持つ変形照明を行うことができる。このような有効光源分布を有する変形照明を行うことで、プレート400面上では、図38(c)に示すように偽解像が消滅して所望のパターンのみを得られることが理解される。

【0092】図35乃至図40を参照して説明したように、かかる変形照明は上述した開口絞り150Jを用いることで可能となることが理解されるが、かかる開口絞り150Jの形状や寸法などはこれらの回折光の特性を考慮した上で決定されなければならないことは言うまでもない。中抜けとなる十字の最適な長さはパターンピッチにより異なり、照明系の中央が十字状に抜けた部分の十字の長手方向はパターンから生じた±1次回折光が瞳に入射しない大きさを持つ変形照明系であることが好ましい。

【0093】また、マスク200は、図10に示すマスク200Bに置換されてもよい。ここで、図10はマスク200Bの概略平面図である。マスク200Bは、光透過部の全ての位相は等しいバイナリーマスクであるが、所望のコンタクトホール210の周りにあるダミーの(×印が付された)コンタクトホール260は、それ以外のダミーのコンタクト220よりもホール径が小さく設定されている点でマスク200と相違する。コンタクトホール260のホール径を小さくすることによって所望のコンタクトホール210のパターンをダミーのコンタクトホール220からより強調することができる。なお、マスク200Aのようにマスク200Bを位相シフトマスクとして構成してよいことは言うまでもない。

【0094】投影光学系300は、マスク200に形成されたコンタクトホールパターンを経た回折光をプレート400上に結像するための開口絞り320を有する。投影光学系300は、複数のレンズ素子のみからなる光学系、複数のレンズ素子と少なくとも一枚の凹面鏡とを有する光学系(カタディオプトリック光学系)、複数のレンズ素子と少なくとも一枚のキノフォームなどの回折光学素子とを有する光学系、全ミラー型の光学系等を使

用することができる。色収差の補正が必要な場合には、互いに分散値(アッベ値)の異なるガラス材からなる複数のレンズ素子を使用したり、回折光学素子をレンズ素子と逆方向の分散が生じるように構成したりする。上述したように、投影光学系300の瞳面320に形成される有効光源の形状は図2乃至図7に示す形状と同様である。

【0095】プレート400は、本実施形態ではウェハであるが、液晶基板その他の被処理体を広く含む。プレート400にはフォトレジストが塗布されている。フォトレジスト塗布工程は、前処理と、密着性向上剤塗布処理と、フォトレジスト塗布処理と、プリベーク処理とを含む。前処理は洗浄、乾燥などを含む。密着性向上剤塗布処理は、フォトレジストと下地との密着性を高めるための表面改質(即ち、界面活性剤塗布による疎水性化)処理であり、HMDS(Hexamethyl-disilazane)などの有機膜をコート又は蒸気処理する。プリベークはベーキング(焼成)工程であるが現像後のそれよりもソフトであり、溶剤を除去する。

【0096】プレート400はウェハステージ450に支持される。ステージ450は、当業界で周知のいかなる構成をも適用することができるので、ここでは詳しい構造及び動作の説明は省略する。例えば、ステージ450はリニアモータを利用してXY方向にプレート400を移動する。マスク200とプレート400は、例えば、同期して走査され、図示しないマスクステージとウェハステージ450の位置は、例えば、レーザー干渉計などにより監視され、両者は一定の速度比率で駆動される。ステージ450は、例えば、ダンパを介して床等の上に支持されるステージ定盤上に設けられ、マスクステージ及び投影光学系300は、例えば、鏡筒定盤は床等に載置されたベースフレーム上にダンパ等を介して支持される図示しない鏡筒定盤上に設けられる。

【0097】結像位置調節装置500は、ステージ450に接続されてステージ450と共にプレート400を焦点深度の範囲内で図1に示すZ方向に移動させ、プレート400の結像位置を調節する。露光装置は、Z方向において異なる位置に配置されたプレート400に対して露光を複数回行うことにより、焦点深度内における結像性能のばらつきをなくすることができる。結像位置調節装置500は、Z方向に伸びる図示しないラックと、ステージ450に接続されてラック上を移動可能な図示しないピニオンと、ピニオンを回転させる手段など、当業界で周知のいかなる技術をも適用することができるので、ここでは詳しい説明は省略する。

【0098】露光において、レーザー112から発せられた光束は、ビーム成形系114によりそのビーム形状が所望のものに成形された後で、照明光学系120に入射する。集光光学系130は、それを通過した光束をオプティカルインテグレータ140に効率よく導入する。

その際、露光量調節部132が照明光の露光量を調節する。オプティカルインテグレータ140は照明光を均一化し、開口絞り150は、光軸付近にピークを有する照明光と軸外にピークを有する照明光とが合成された照明光を形成する。かかる照明光はコンデンサーレンズ160を介してマスク200を最適な照明条件で照明する。

【0099】マスク200には、所望のコンタクトホール210のパターンと、ダミーのコンタクトホール220のパターンとが2次的に配列されたコンタクトパターンが形成されている。所望のコンタクトホール210はダミーのコンタクトホール220よりもホール径が大きくされているので露光量が増加する。

【0100】マスク200を通過した光束は投影光学系300の結像作用によって、プレート400上に所定倍率で縮小投影される。ステップアンドスキャン方式の露光装置であれば、光源部110と投影光学系300は固定して、マスク200とプレート400の同期走査してショット全体を露光する。更に、プレート400のステージ450をステップして、次のショットに移り、プレート400上に多数のショットを露光転写する。なお、露光装置がステップアンドリピート方式であれば、マスク200とプレート400を静止させた状態で露光を行う。

【0101】軸外にピークを有する照明光はマスク200を照明してコントラストが強調された周期性のあるコンタクトホールパターンの強度分布をプレート400上に形成する。光軸付近にピークを有する照明光はマスク200を照明して所望のコンタクトホール210のパターンが強調された、周期性のないパターンの強度分布をプレート400上に形成する。この結果、プレート400のレジストの閾値を適当に選択することによって所望のコンタクトホール210のパターンをプレート400上に形成することができる。これにより、露光装置はレジストへのパターン転写を高精度に行って高品位なデバイス（半導体素子、LCD素子、撮像素子（CCDなど）、薄膜磁気ヘッドなど）を提供することができる。

【0102】次に、図19及び図20を参照して、上述の露光装置を利用したデバイスの製造方法の実施例を説明する。図19は、デバイス（ICやLSIなどの半導体チップ、LCD、CCD等）の製造を説明するためのフローチャートである。ここでは、半導体チップの製造を例に説明する。ステップ1（回路設計）ではデバイスの回路設計を行う。ステップ2（マスク製作）では、設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。ステップ3（ウェハ製造）ではシリコンなどの材料を用いてウェハを製造する。ステップ4（ウェハプロセス）は前工程と呼ばれ、マスクとウェハを用いて本発明のリソグラフィ技術によってウェハ上に実際の回路を形成する。ステップ5（組み立て）は後工程と呼ばれ、ステップ4によって作成されたウェハを用いて半導体チップ化する

工程であり、アッセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の工程を含む。ステップ6（検査）では、ステップ5で作成された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テストなどの検査を行う。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これが出荷（ステップ7）される。

【0103】図20は、ステップ4のウェハプロセスの詳細なフローチャートである。ステップ11（酸化）ではウェハの表面を酸化させる。ステップ12（CVD）では、ウェハの表面に絶縁膜を形成する。ステップ13（電極形成）では、ウェハ上に電極を蒸着などによって形成する。ステップ14（イオン打ち込み）ではウェハにイオンを打ち込む。ステップ15（レジスト処理）ではウェハに感光剤を塗布する。ステップ16（露光）では、露光装置によってマスクの回路パターンをウェハに露光する。ステップ17（現像）では、露光したウェハを現像する。ステップ18（エッチング）では、現像したレジスト像以外の部分を削り取る。ステップ19（レジスト剥離）では、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返すことによってウェハ上に多重に回路パターンが形成される。

（実施例1）実施例1では図8に示すバイナリーマスク200と、レーザー112にKrFエキシマレーザー（波長248nm）と、NA0.60の投影光学系300とを露光装置に使用した。マスク200では、所望のコンタクトホール210のホール径を150nmとし、ダミーコンタクトホール220のホール径120nmよりも30nmだけ大きくした。また、開口絞り150には、図2に示す開口絞り150Aを使用した光軸付近にピークを有する（即ち、円151によりもたらされる）照明光の σ を0.2、軸外にピークを有する（即ち、4つの円152Aによってもたらされる）照明光の σ を0.9とした。また、露光量調整部132によって小さな σ の照明光と大きな σ の照明光との強度比は0.9対1に設定した。

【0104】この時の露光結果を図11に示す。同図は、結像位置調節装置500によってプレート400をZ軸方向に焦点深度の範囲内で $-0.4\mu\text{m}\sim+0.4\mu\text{m}$ まで移動させて露光した場合の結像特性を示す。所望のコンタクトホール210が焦点からの距離 $-0.2\mu\text{m}\sim+0.2\mu\text{m}$ の領域で良好に得られていることが理解されるであろう。

（実施例2）実施例2では図9に示す位相シフトマスク200Aを使用した。その他の点（即ち、露光装置の構成、照明条件及び露光量）については実施例1と同様にした。このときの結果を図13に示す。バイナリーマスク200と比較して若干の改善が見られることが理解されるであろう。

（実施例3）実施例3では、図10に示すマスク200

Bを使用した以外は、実施例1又は実施例2と同様であった。本実施例では、所望のコンタクトホール210に隣接するダミーのコンタクトホール260のホール径は残りのダミーのコンタクトホール230よりも約20nmだけ（従って、約100nmに）小さくした。所望のコンタクトホール210のパターン間のダミーパターン強度を抑えることにより、露光量裕度の改善が認められた。所望のコンタクトホール210に隣接するダミーのコンタクトホール260のホール径を自動的に小さくすることにより結像性能の向上にかなりの効果があるが、更に、近接するホールの数と距離により最適化しても良い。

（実施例4）実施例4では、結像位置調節装置500を介して露光時に図1に示すZ方向に結像位置を変化させながら連続露光した。露光装置の構成、マスク配列等は実施例1乃至3と基本的に同様である。本実施例では、露光中にウェハステージ450をZ方向に移動させ、複数回露光を繰り返すことによって、焦点位置からの異なる距離で多重露光を行った。このような多重露光により、焦点深度の範囲内での異なる位置における結像特性の改善が認められた。

（実施例5）実施例5では図9に示す位相シフトマスク200Aと、レーザー112にKrFエキシマレーザー（波長248nm）と、NA0.60の投影光学系300とを露光装置に使用した。マスク200では、所望のコンタクトホール210のホール径を150nmとし、ダミーコンタクトホール220のホール径120nmよりも30nmだけ大きくした。また、開口絞り150には、図2に示す開口絞り150Gを使用した2つの回折光が投影光学系400の瞳面上に入射するように設定した（即ち、4つの矩形155によりもたらされる）照明光、瞳面320であって上記の照明光を邪魔しないような領域（瞳面320上で2つの回折光位置を直線的に結んで表させる領域を除く領域、即ち、矩形156によってもたらされる）照明光とした。また、露光量調整部132によって前者の照明光と後者の照明光との強度比は0.9対1に設定した。

【0105】この時の露光結果を図41に示す。同図は、結像位置調節装置500によってプレート400をZ軸方向に焦点深度の範囲内で $-0.4\mu\text{m}\sim+0.4\mu\text{m}$ まで移動させて露光した場合の結像特性を示す。所望のコンタクトホール210が焦点からの距離 $-0.2\mu\text{m}\sim+0.2\mu\text{m}$ の領域で良好に得られていることが理解されるであろう。

（実施例6）実施例6では図8に示すバイナリーマスク200と、開口絞り150Jを使用した。その他の点（即ち、露光装置の構成、照明条件及び露光量）については実施例1と同様にした。このときの結果を図42に示す。実施例5と同様、所望のコンタクトホール210が焦点からの距離 $-0.2\mu\text{m}\sim+0.2\mu\text{m}$ の領域で

良好に得られていることが理解されるであろう。

（実施例7）実施例7では、図10に示すマスク200Bを使用した以外は、実施例5又は実施例6と同様であった。本実施例では、所望のコンタクトホール210に隣接するダミーのコンタクトホール260のホール径は残りのダミーのコンタクトホール230よりも約20nmだけ（従って、約100nmに）小さくした。所望のコンタクトホール210のパターン間のダミーパターン強度を抑えることにより、露光量裕度の改善が認められた。所望のコンタクトホール210に隣接するダミーのコンタクトホール260のホール径を自動的に小さくすることにより結像性能の向上にかなりの効果があるが、更に、近接するホールの数と距離により最適化しても良い。

（実施例8）実施例8では、結像位置調節装置500を介して露光時に図1に示すZ方向に結像位置を変化させながら連続露光した。露光装置の構成、マスク配列等は実施例5乃至7と基本的に同様である。本実施例では、露光中にウェハステージ450をZ方向に移動させ、複数回露光を繰り返すことによって、焦点位置からの異なる距離で多重露光を行った。このような多重露光により、焦点深度の範囲内での異なる位置における結像特性の改善が認められた。

【0106】本発明によれば、最小線幅が0.08乃至0.15 μm 以下の微細なコンタクトホールパターンを、マスク200を交換せずにプレート400面上に焦点深度内の異なる位置で結像特性良く転写することができた。本実施例では、KrFエキシマレーザー、NA=0.6の露光装置で最小線幅と最小間隔がともに0.12 μm のコンタクトホールパターンが解像された。なお、解像線幅を k_1 で規格化すると $k_1=0.29$ 、ピッチ $0.29\times 2=0.58$ である。

【0107】以下、照明光学系の開口絞りにおける、所望のパターンの解像に寄与する第1の光透過部と、所望のパターンの光強度分布を高める第2の光透過部との間の開口面積比について説明する。

【0108】一例として、開口絞り150Jに着目する。図24Bに示す開口絞り150Jは、図43に示すように、機能的に2つのサブ絞り150J₁及び150J₂に分けられる。図43Aはサブ絞り150J₁の平面図を示し、図43Bはサブ絞り150J₂の平面図を示す。開口158Aは第1の光透過部に相当し、開口159Aは第1の光透過部に相当する。

【0109】開口158Aは、効果的に0次回折光と+1次又は-1次回折光が投影光学系300の瞳に入射することを許容し、従って微細パターンの解像に寄与する。一方、開口159Aは、0次回折光が瞳に入射することを許容するが、+1次又は-1次回折光のいずれも瞳に入射することを許容しない。開口159Aは、一回折光のみが瞳に入射することを許容するので所望のパ

ターンは形成されない。

【0110】図44は、シミュレーションの結果を示している。特に、図44Aは、サブ絞り150J₁を図8に示すマスク200と組み合わせており、所望のコンタクトホールは110nm×110nmでハーフピッチは110nmに設定されている。下のパターンは、2つの光束の干渉の結果得られ、所望のコンタクトホールパターン210とダミーのコンタクトホールパターン220が得られる。一方、図44Bは、サブ絞り150J₂を図8に示すマスク200と組み合わせており、所望のコンタクトホールは110nm×110nmでハーフピッチは110nmに設定されている。下のパターンは、一回折光から得られた。図44Bは、所望のコンタクトホールパターン210の輪郭を強調しているが、所望のコンタクトホールパターン210さえも解像していない。

【0111】サブ絞り150J₁及び150J₂の組み合わせ、即ち、図24Bに示す絞り150Jは、所望のコンタクトホールパターン210のみを成功裡に解像している。図45は、サブ絞り150Jがマスク200と組み合わせられた場合のパターンを示しており、a=0.7、b=0.5及び最大σは0.92である。図45は、ダミーのコンタクトホールパターン220のない所望のコンタクトホールパターン210を明示している。

【0112】本発明者らの検討によれば、第1及び第2の光透過部の開口面積が大きすぎる場合は所望のパターンを解像できず、第1及び第2の光透過部の開口面積が小さすぎる場合は所望のパターンに加えて望ましくないパターンの解像をもたらす。

(実施例9) 図8を参照して、投影露光装置は波長248nm、開口数0.73を有する。所望のコンタクトホールパターン210は、プレート400に換算されると、横方向に間隔120nm、縦方向に間隔360nmを有する。各コンタクトホール210は、120nm×120nmの大きさを有する。プレート400に換算されると、これは横方向に周期240nm、縦方向に周期480nmであることを意味する。ダミーコンタクトホールパターン220は、プレート400に換算されると、縦方向及び横方向それぞれに周期240nmを有する。各ダミーホール220は、90nm×90nmの大きさを有する。ダミーコンタクトホールパターン220は、所望のパターン210の外側に3個広がっている。本実施例は、開口絞り150Jを使用しており、a=0.6、b=0.5及び最大σは0.92である。図46Aに示すように良好な実験結果が得られた。

【0113】別の実験も図8に示すマスク200を使用する。プレート400に換算されると、所望のコンタクトホールパターン210は、横方向に周期220nm、縦方向に周期440nmを有する。各コンタクトホール210は、110nm×110nmの大きさを有する。

ダミーコンタクトホールパターン220は、プレート400に換算されると、縦方向及び横方向それぞれに周期220nmを有する。各ダミーホール220は、90nm×90nmの大きさを有する。本実施例は、開口絞り150Jを使用しており、a=0.7、b=0.5及び最大σは0.92である。図46Bに示すように良好な実験結果が得られた。開口158Aと159Aの面積比は、図24Bにおいて0.20である。

【0114】更に別の実験も図8に示すマスク200を使用する。プレート400に換算されると、所望のコンタクトホールパターン210は、横方向に周期200nm、縦方向に周期400nmを有する。各コンタクトホール210は、100nm×100nmの大きさを有する。ダミーコンタクトホールパターン220は、プレート400に換算されると、縦方向及び横方向それぞれに周期200nmを有する。各ダミーホール220は、80nm×80nmの大きさを有する。本実施例は、図21に示す開口絞り150Gを使用しており、a=0.8、b=0.6及び最大σは0.92である。図46Cに示すように良好な実験結果が得られた。開口155と156の面積比は、図21において約0.06である。

【0115】本実施例では、所望のコンタクトホール210の形状と大きさは調節されている。即ち、孤立コンタクトホール210の大きさは比較的大きくされている。さもないとその光強度は小さくなる。

【0116】様々なパターンを調査した結果、本発明者等は遮光領域の大きさをパターンによって可変にすることが有効であることを発見した。図24Bにおける開口絞り150Jは、a=0.8、b=0.4及び最大σが0.90であると開口158A及び159Aの面積比は約1.30である。a=0.8、b=0.6及び最大σが0.92であると開口158A及び159Aの面積比は約0.06である。絞り150A乃至150Cに対しては比は約0.25である。

【0117】この面積比の結果は、ハーフトーンマスクや図47に示す絞り150K、150L及び150Mにも適用される。これらも絞り150K、150L及び150Mは異なる縦横方向の周期を有し、180°回転対象である。

(実施例10) 実施例9ではバイナリーマスクを使用するが、本実施例は図9に示す位相シフトマスク200Aを使用する。投影露光装置は波長248nm、開口数0.73を有する。所望のコンタクトホールパターン210は、プレート400に換算されると、横方向に周期200nm、縦方向に周期400nmを有する。各コンタクトホール210は、100nm×100nmの大きさを有する。ダミーコンタクトホールパターン220は、プレート400に換算されると、縦方向及び横方向それぞれに周期200nmを有する。各ダミーホール220は、80nm×80nmの大きさを有する。本実施

例は、図21の開口絞り150Gを使用しており、 $a=0.2$ 、 $b=0.1$ 及び最大 σ は0.92である。図46Aに示すように良好な実験結果が得られた。開口155と156の面積比は、図21において約0.28である。その他の条件は実施例9におけるそれらと同じである。

【0118】一般に、殆どの位相シフトマスクに対して $a \leq 0.3$ 、 $b \leq 0.2$ である。最大 σ は0.9乃至1.0の範囲内である時、第1及び第2の光透過部間の開口面積比は0.13乃至0.75である。

【0119】所望のコンタクトホールパターンを解像するためには、実施例9及び10からは、約0.06乃至約0.13が、照明光学系の開口絞りの所望のパターンの解像に寄与する第1の光透過部と、所望のパターンの光強度分布を高める第2の光透過部との間の適当な開口面積比であることが分かる。上記の様々な開口絞りにおいて、面積比が容易に制御可能になるために遮光領域を可変にすることが好ましい。

【0120】以下、所望及びダミーのコンタクトホール間のホール径の関係について説明する。ダミーコンタクトホールのホール径が大きすぎると、所望のコンタクトホールに近すぎると、ダミーのコンタクトホールパターンが不本意にも解像してしまう。一方、ダミーのコンタクトホールのホール径が小さすぎると、ダミーのパターンが所望のパターンに与える周期性が失われてしまう。ダミーコンタクトホールのホール径がより大きければ大きいほど、光利用効率とそれによるスループットが改善されることは、一般には正しい。従って、所望及びダミーのコンタクトホールのホール径の関係は重要である。

(実施例11) 図8を参照して、投影露光装置は波長248nm、開口数0.73を有する。所望のコンタクトホールパターン210は、プレート400に換算されると、横方向に間隔120nm、縦方向に間隔360nmを有する。各コンタクトホール210は、120nm×120nmの大きさを有する。プレート400に換算されると、これは横方向に周期240nm、縦方向に周期480nmであることを意味する。ダミーコンタクトホールパターン220は、プレート400に換算されると、縦方向及び横方向それぞれに周期240nmを有する。各ダミーホール220は、コンタクトホール210の大きさの75%に相当する、90nm×90nmの大きさを有する。ダミーコンタクトホールパターン220は、所望のパターン210の外側に3個広がっている。本実施例は、開口絞り150Jを使用しており、 $a=0.6$ 、 $b=0.5$ 及び最大 σ は0.92である。図49Aに示すように良好な実験結果が得られた。本実験は、ダミーコンタクトホールの大きさを70nm乃至100nmで変化させ（これはコンタクトホール210の大きさの約58%乃至約83%に相当する）、所望のコンタクトホールパターン210の良好な解像を確認し

た。

【0121】別の実験も図8に示すマスク200を使用する。プレート400に換算されると、所望のコンタクトホールパターン210は、横方向に周期220nm、縦方向に周期440nmを有する。各コンタクトホール210は、110nm×110nmの大きさを有する。ダミーコンタクトホールパターン220は、プレート400に換算されると、縦方向及び横方向それぞれに周期220nmを有する。各ダミーホール220は、コンタクトホール210の大きさの約82%に相当する、90nm×90nmの大きさを有する。本実施例は、開口絞り150Jを使用しており、図24Bにおいて $a=0.7$ 、 $b=0.5$ 及び最大 σ は0.92である。図49Bに示すように良好な実験結果が得られた。本実験は、ダミーコンタクトホールの大きさを70nm乃至90nmで変化させ（これはコンタクトホール210の大きさの約64%乃至約82%に相当する）、所望のコンタクトホールパターン210の良好な解像を確認した。

【0122】更に別の実験も図8に示すマスク200を使用する。プレート400に換算されると、所望のコンタクトホールパターン210は、横方向に周期200nm、縦方向に周期400nmを有する。各コンタクトホール210は、100nm×100nmの大きさを有する。ダミーコンタクトホールパターン220は、プレート400に換算されると、縦方向及び横方向それぞれに周期200nmを有する。各ダミーホール220は、コンタクトホール210の大きさの80%に相当する80nm×80nmの大きさを有する。本実施例は、図24Bに示す開口絞り150Jを使用しており、 $a=0.8$ 、 $b=0.6$ 及び最大 σ は0.92である。図49Cに示すように良好な実験結果が得られた。本実験は、ダミーコンタクトホールの大きさを70nm乃至90nmで変化させ（これはコンタクトホール210の大きさの70%乃至90%に相当する）、所望のコンタクトホールパターン210の良好な解像を確認した。

【0123】本実施例では、所望のコンタクトホール210の形状と大きさは調節されている。即ち、孤立コンタクトホール210の大きさは比較的大きくされている。さもないとその光強度は小さくなる。

【0124】様々なパターンを調査した結果、本発明者等はダミーコンタクトホールが所望のコンタクトホールのホール径の約55%乃至約90%を有することが好ましいことを発見した。この割合の結果は、ハーフトーンマスクや位相シフトマスクにも適用される。

【0125】以上、本発明の好ましい実施例を説明したが、本発明はこれらに限定されずにその趣旨の範囲内で様々な変形や変更が可能である。

【0126】

【発明の効果】本発明のマスク、露光方法及び装置によれば、微細な（例えば、0.15 μ m以下の）ホール径

を持ち、孤立コンタクトホールからコンタクトホール列までが混在するコンタクトホールパターンを一度に高解像度で露光することができる。また、かかる露光方法及び装置を使用したデバイス製造方法は高品位なデバイスを製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の露光装置の概略ブロック図である。

【図 2】 図 1 に示す露光装置の開口絞りの例示的形状の概略平面図である。

【図 3】 図 1 に示す開口絞りの別の例示的形状の概略平面図である。

【図 4】 図 1 に示す開口絞りの更に別の例示的形状の概略平面図である。

【図 5】 図 1 に示す開口絞りの更に別の例示的形状の概略平面図である。

【図 6】 図 1 に示す開口絞りの更に別の例示的形状の概略平面図である。

【図 7】 図 1 に示す開口絞りの更に別の例示的形状の概略平面図である。

【図 8】 図 1 に示す露光装置のマスクの概略平面図である。

【図 9】 図 8 に示すマスクの変形例の概略図である。

【図 10】 図 8 に示すマスクの別の変形例の概略平面図である。

【図 11】 実施例 1 の露光結果としてプレートに転写されたパターンである。

【図 12】 図 11 に示すマスクを図 2 に示す開口絞りで照明した場合に軸外にピークを有する照明光によって投影光学系の瞳面に現れる回折光の分布を示す概略平面図である。

【図 13】 実施例 2 の露光結果としてプレートに転写されたパターンである。

【図 14】 所望のコンタクトホールのパターンを形成したバイナリーマスクの平面図である。

【図 15】 図 14 に示すマスクを光軸付近にピークを有する照明光で照明した場合に露光装置の投影光学系の瞳面上に現れる回折光の分布を示す概略平面図である。

【図 16】 図 14 に示すパターンとダミーのコントラストパターンとを 2 次元的に配列したコンタクトホールパターンを有するマスクの概略平面図である。

【図 17】 十字（四重極）照明光で図 14 に示すマスクを照明した場合に露光装置の投影光学系の瞳面上に現れる回折光の分布を説明するための概略図である。

【図 18】 図 16 に示すマスクを照明するための十字（四重極）照明絞りの概略平面図である。

【図 19】 本発明の露光装置を有するデバイス製造方法を説明するためのフローチャートである。

【図 20】 図 19 に示すステップ 4 の詳細なフローチャートである。

【図 21】 開口絞りの例示的な形状を示す概略平面図

である。

【図 22】 開口絞りの例示的な形状を示す概略平面図である。

【図 23】 開口絞りの例示的な形状を示す概略平面図である。

【図 24】 開口絞りの例示的な形状を示す概略平面図である。

【図 25】 図 9 に示す位相シフトマスクに小 σ 照明したときの瞳面上の回折光の位置と、斜入射照明をしたときの回折光の移動する位置を示した模式図である。

【図 26】 有効光源分布を説明するための模式図である。

【図 27】 十字斜入射照明及び本発明の変形照明における露光量及び当該露光量に対応するパターン上での像を示した図である。

【図 28】 瞳面上の回折光の入射位置を示した模式図である。

【図 29】 有効光源分布を説明するための模式図である。

【図 30】 有効光源形状を示した図である。

【図 31】 有効光源分布を説明するための模式図である。

【図 32】 有効光源形状を示した図である。

【図 33】 有効光源分布を説明するための模式図である。

【図 34】 有効光源形状を示した図である。

【図 35】 図 8 に示すバイナリーマスクに小 σ 照明したときの瞳面上の回折光の位置と、斜入射照明をしたときの回折光の移動する位置を示した模式図である。

【図 36】 有効光源分布を説明するための模式図である。

【図 37】 有効光源分布を説明するための模式図である。

【図 38】 十字型（四重極）の開口絞り及び本発明の開口絞りと、当該開口絞りに対して斜入射照明を行ったときのパターン面上での解像パターンのシミュレーションを示した図である。

【図 39】 有効光源分布の一例を示す図である。

【図 40】 有効光源分布を説明するための模式図である。

【図 41】 実施例 5 の露光結果としてプレートに転写されたパターンである。

【図 42】 実施例 6 の露光結果としてプレートに転写されたパターンである。

【図 43】 図 24 から得られる一対のサブ絞りである。

【図 44】 図 43 のサブ絞りの機能を説明するための図である。

【図 45】 図 24 のマスクを利用してプレートに転写されるパターンである。

【図46】 実施例9の露光結果としてプレートに転写されたパターンである。

【図47】 3つの開口絞りの例示的形状を示す概略平面図である。

【図48】 実施例10の露光結果としてプレートに転写されたパターンである。

【図49】 実施例11の露光結果としてプレートに転写されたパターンである。

【符号の説明】

100 露光装置

100 照明装置

120

照明光学系

132

露光量調整部

150

開口絞り

200

マスク

210

所望のコンタクトホール

220

ダミーのコンタクトホール

260

ダミーのコンタクトホール

300

投影光学系

320

瞳

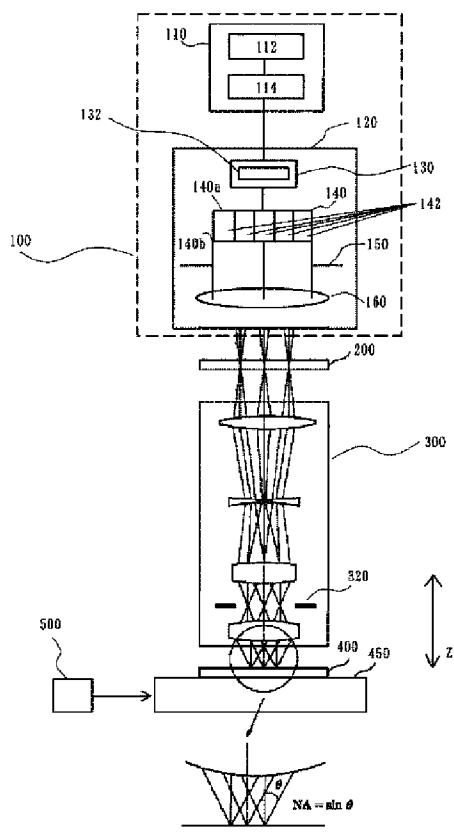
400

プレート

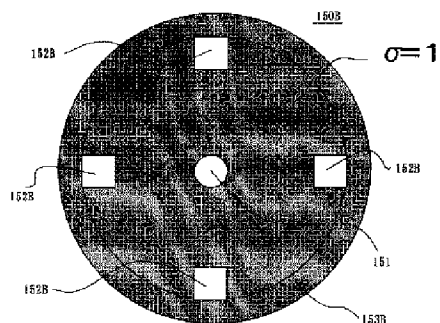
500

解像位置調節装置

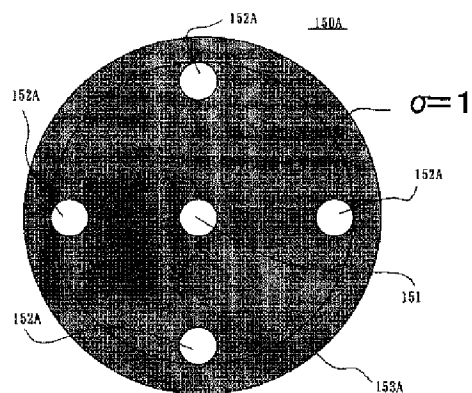
【図1】



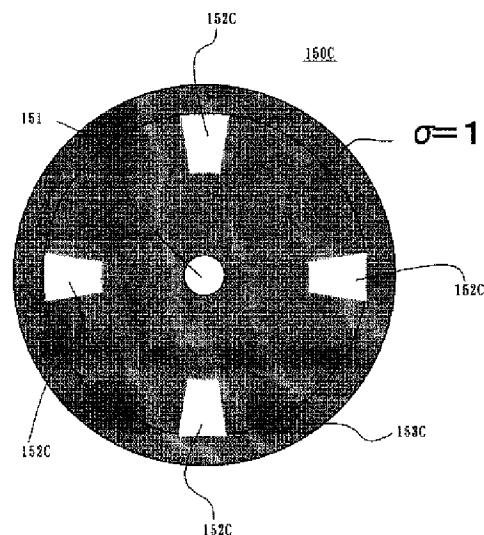
【図3】



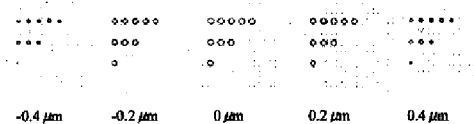
【図2】



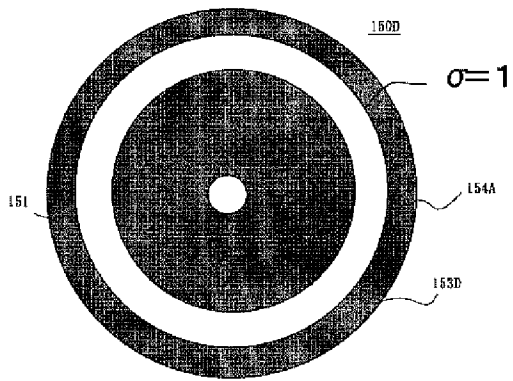
【図4】



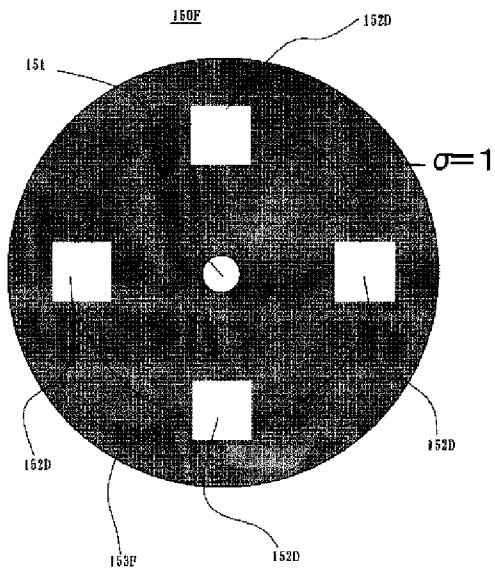
【図11】



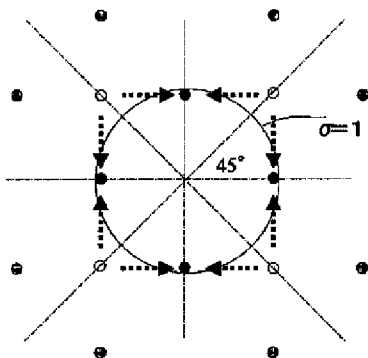
【図 5】



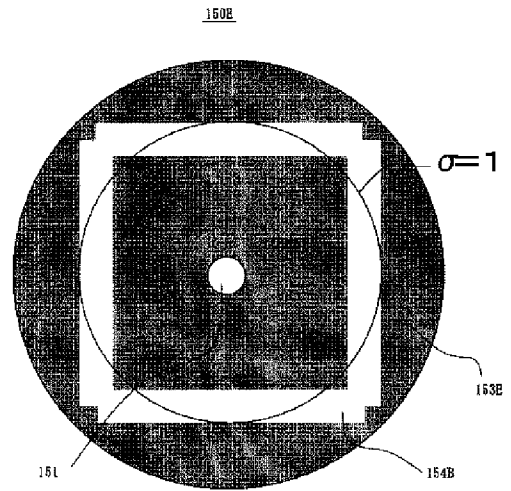
【図 7】



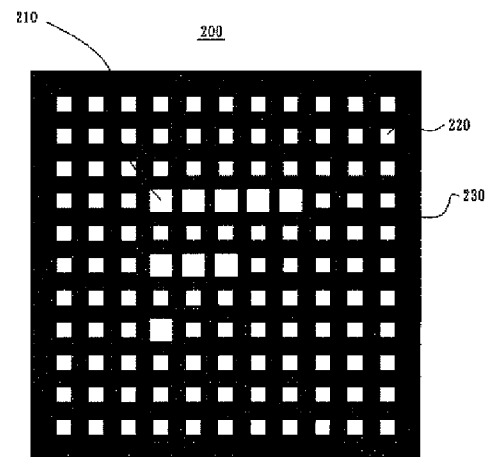
【図 12】



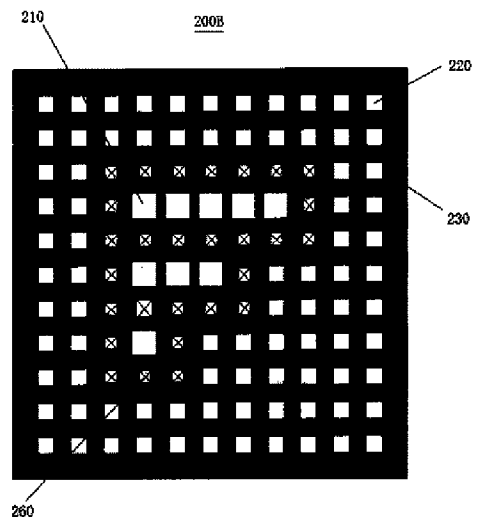
【図 6】



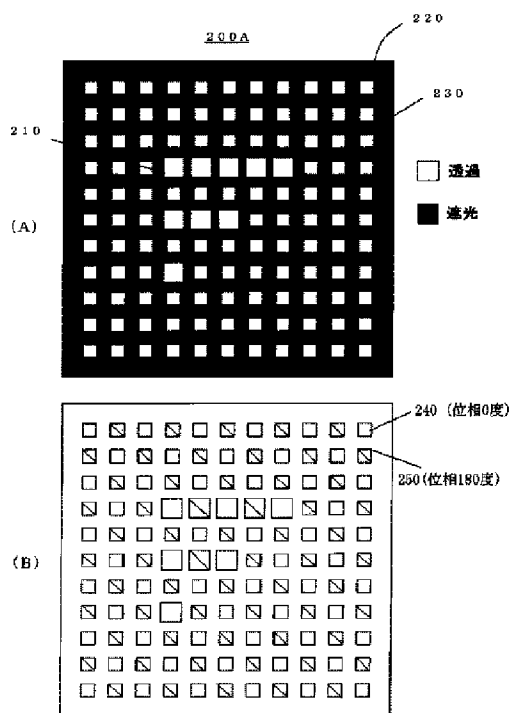
【図 8】



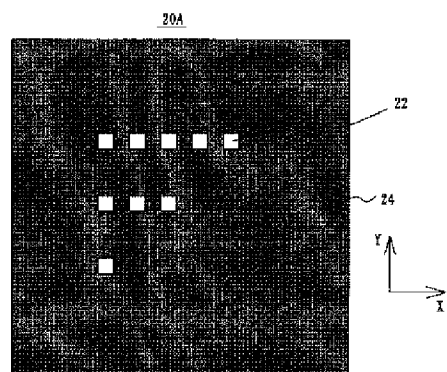
【図 10】



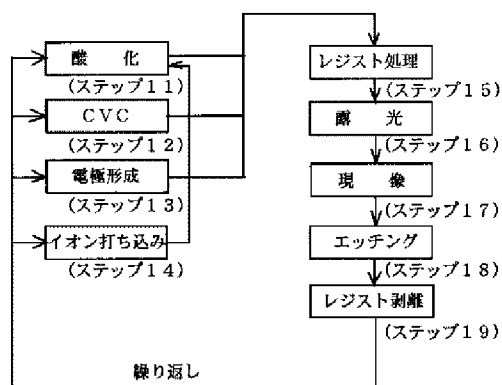
【図 9】



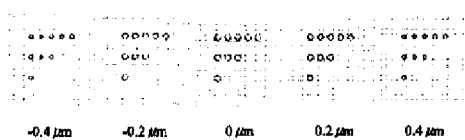
【図 14】



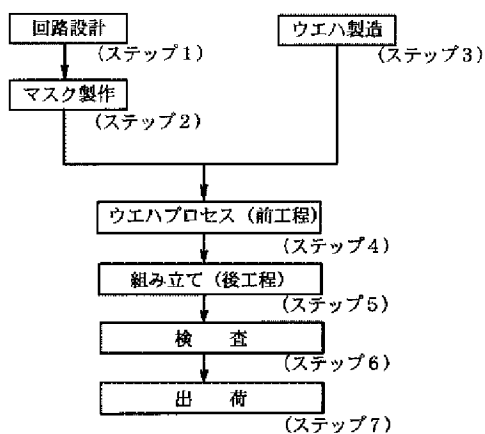
【図 20】



【図 13】

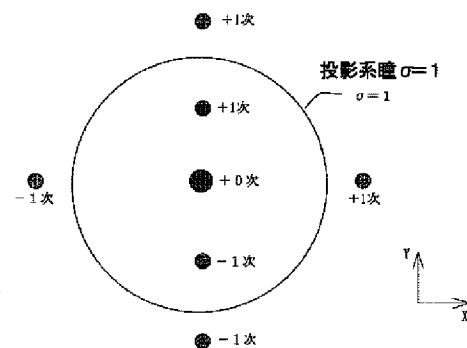


【図 19】

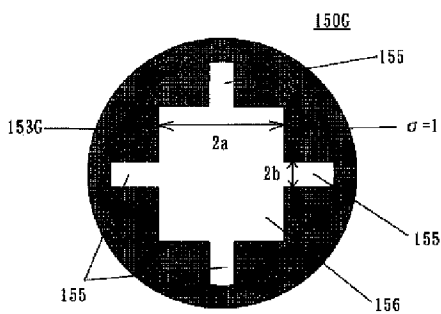
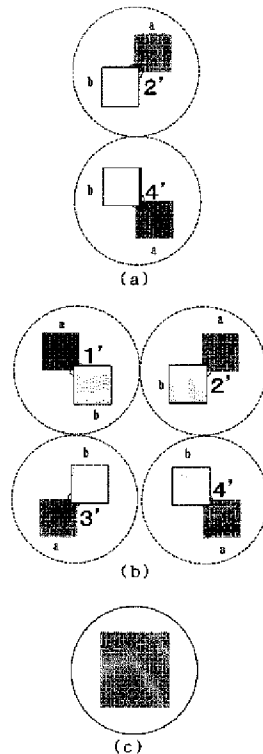


【図 15】

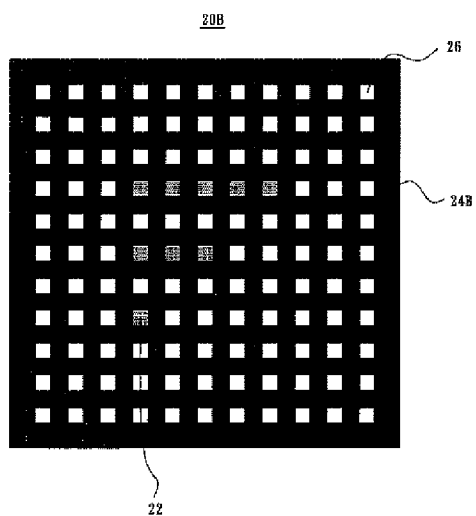
【図 29】



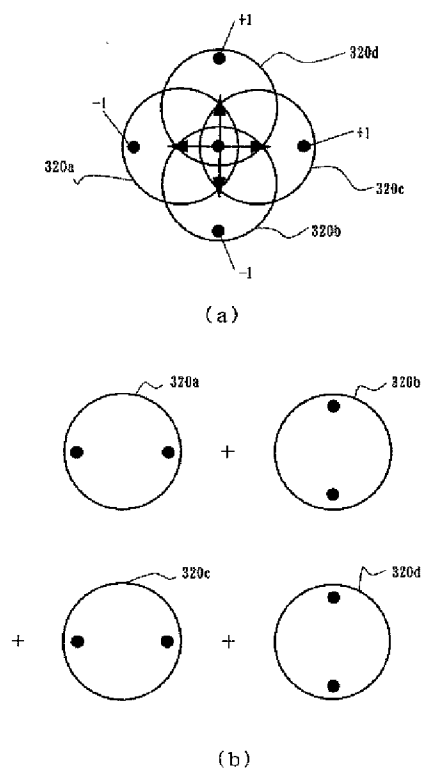
【図 21】



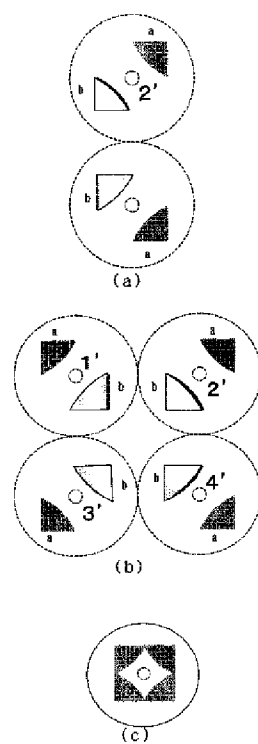
【図 1 6】



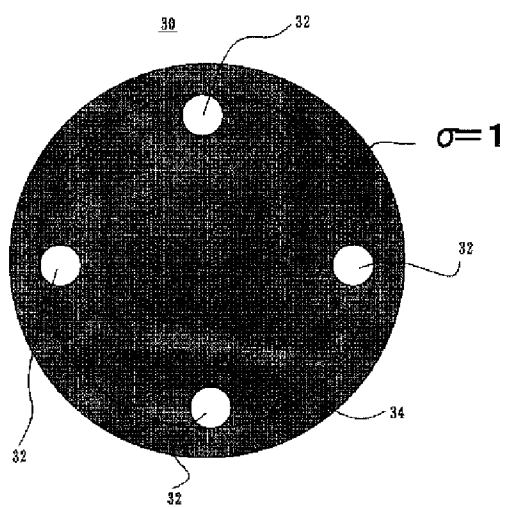
【図 1 7】



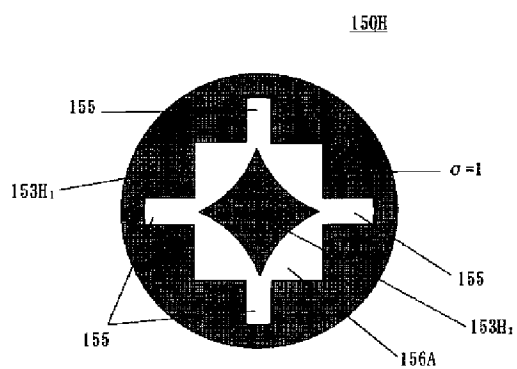
【図 3 1】



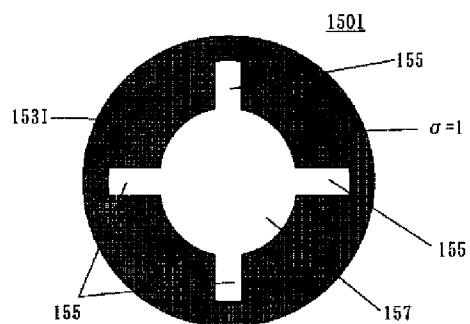
【図 1 8】



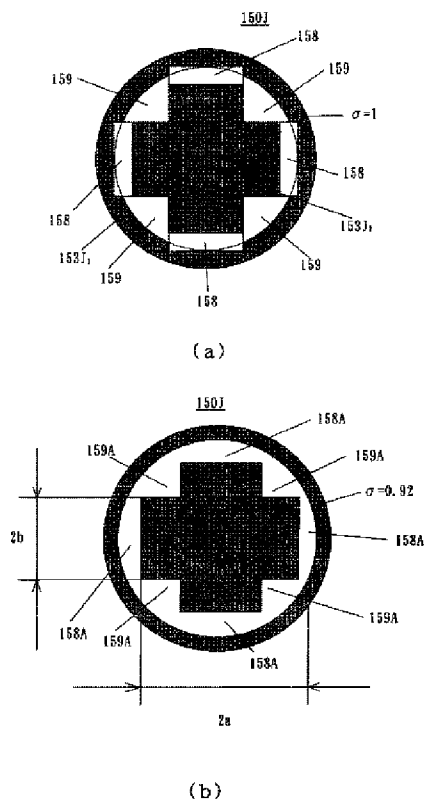
【図 2 2】



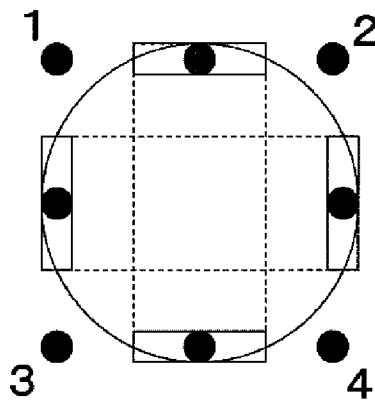
【図 2 3】



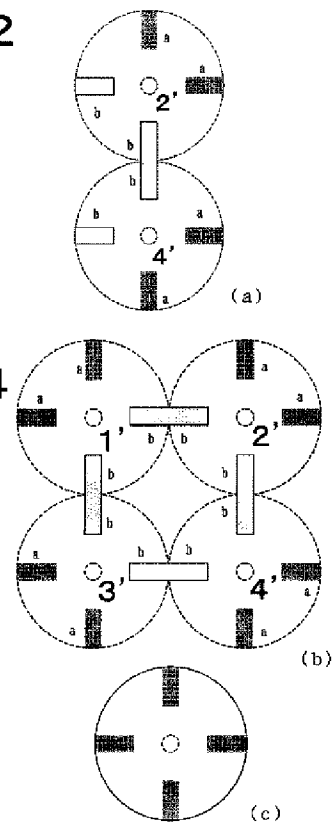
【図 2 4】



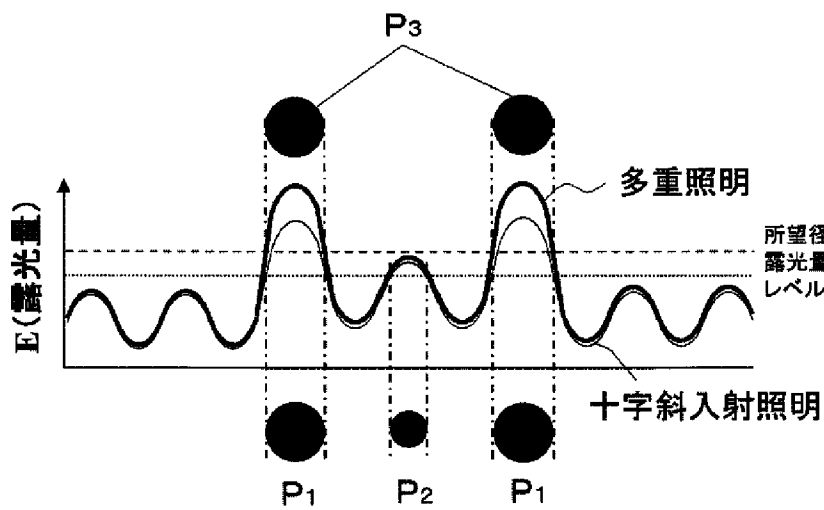
【図 2 5】



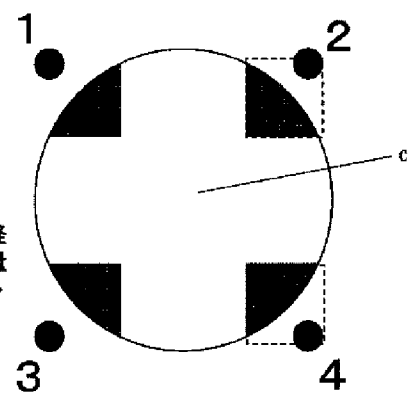
【図 2 6】



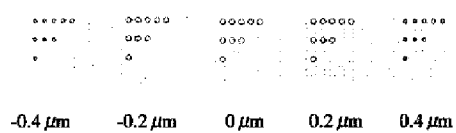
【図 2 7】



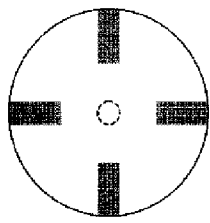
【図 2 8】



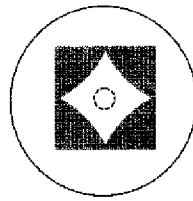
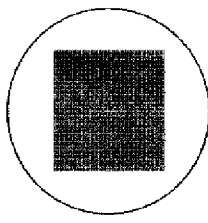
【図 4 1】



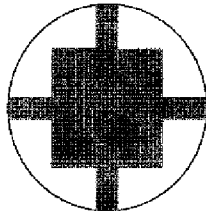
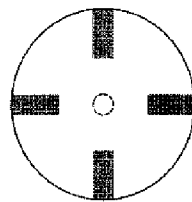
【图 3 0】



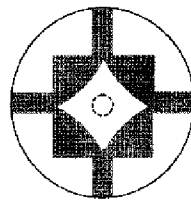
+



+

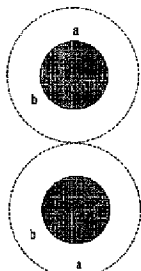


【图 3 3】

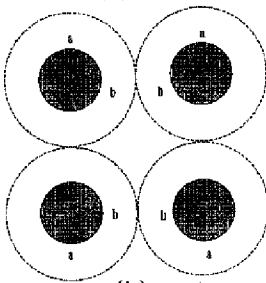


【图 3 4】

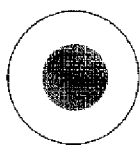
【图 3 5】



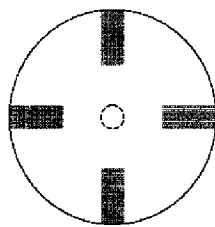
(a)



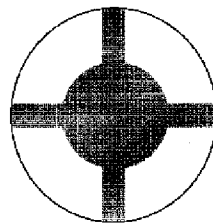
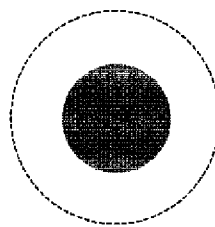
(b)



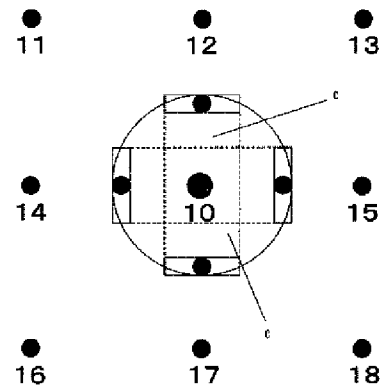
(c)



+

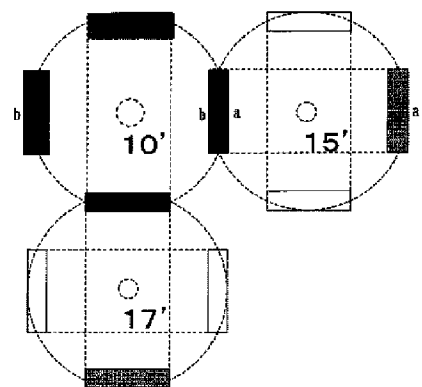
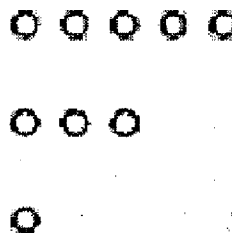
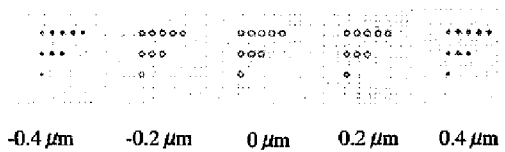


【图 4 8】

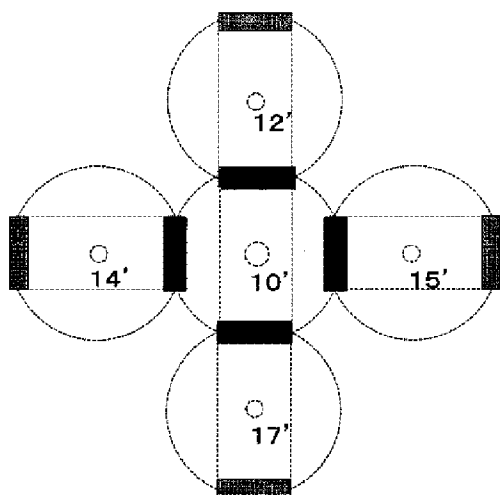


【图 3 6】

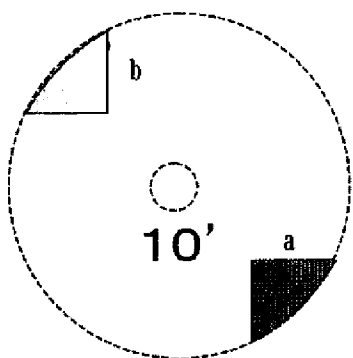
【图 4 2】



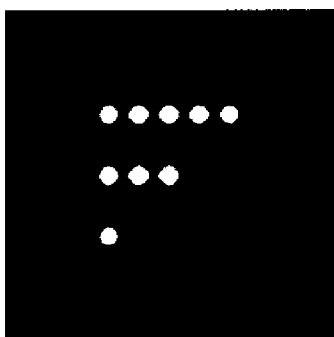
【图 3 7】



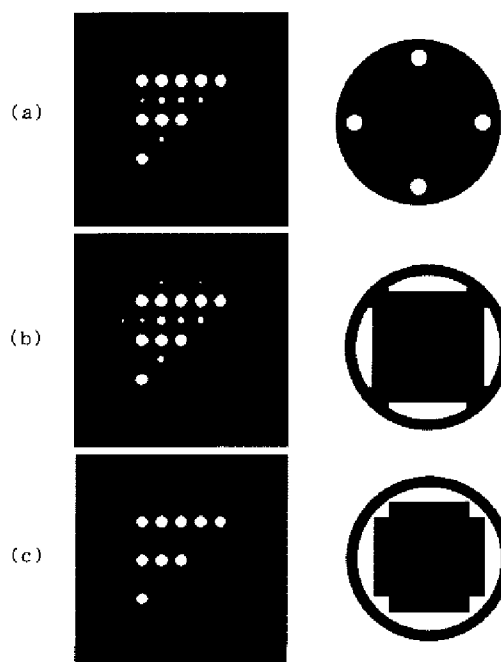
【图 3 9】



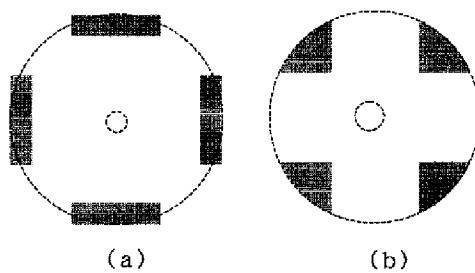
【图 4 5】



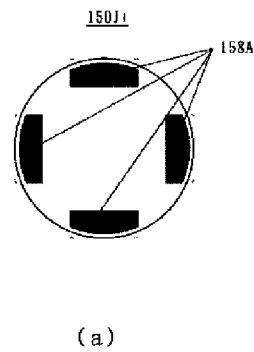
【图 3 8】



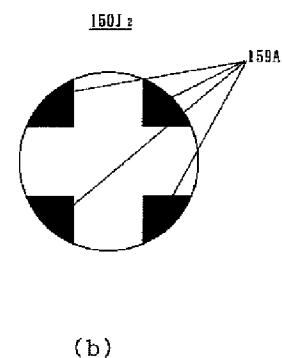
【图 4 0】



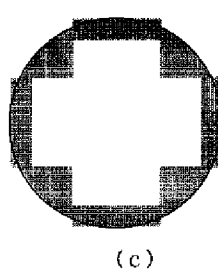
【图 4 3】



(a)

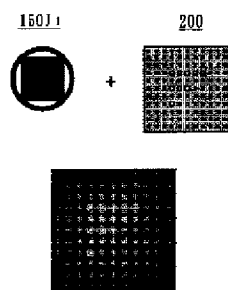


(b)

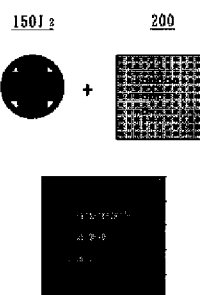


(c)

【図 4 4】

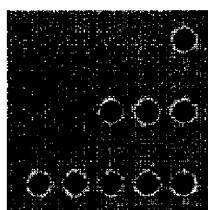


(a)

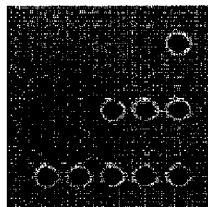


(b)

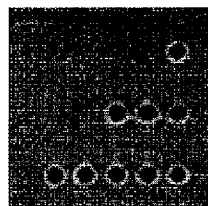
【図 4 6】



(a)

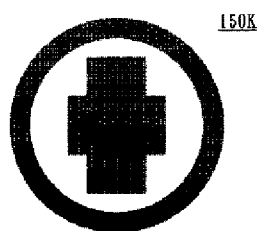


(b)

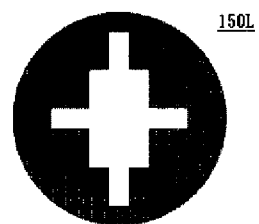


(c)

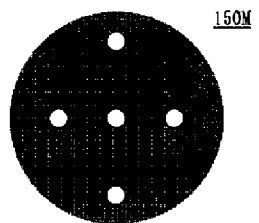
【図 4 7】



(a)

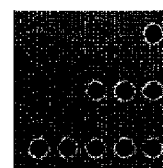


(b)

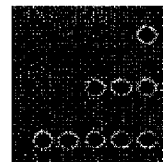


(c)

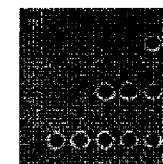
【図 4 9】



(a)



(b)



(c)

フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷

識別記号

F I
H 0 1 L 21/30テーマコード^{*}(参考)5 2 7
5 0 2 P(72)発明者 鈴木 章義
東京都大田区下丸子 3 丁目 30 番 2 号 キヤ
ノン株式会社内F ターム(参考) 2H095 BB02 BB03
5F046 AA25 BA04 BA05 BA08 CA04
CB05 CB12 CB13 CB17 CB23
DA01 DA11